

## 小结：

抗震计算实质是动力弹塑性分析问题，地震波的选取确定了动力荷载的大小和形式，纤维或骨架塑性铰的定义将用于考虑结构的弹塑性特性。

目前的问题：

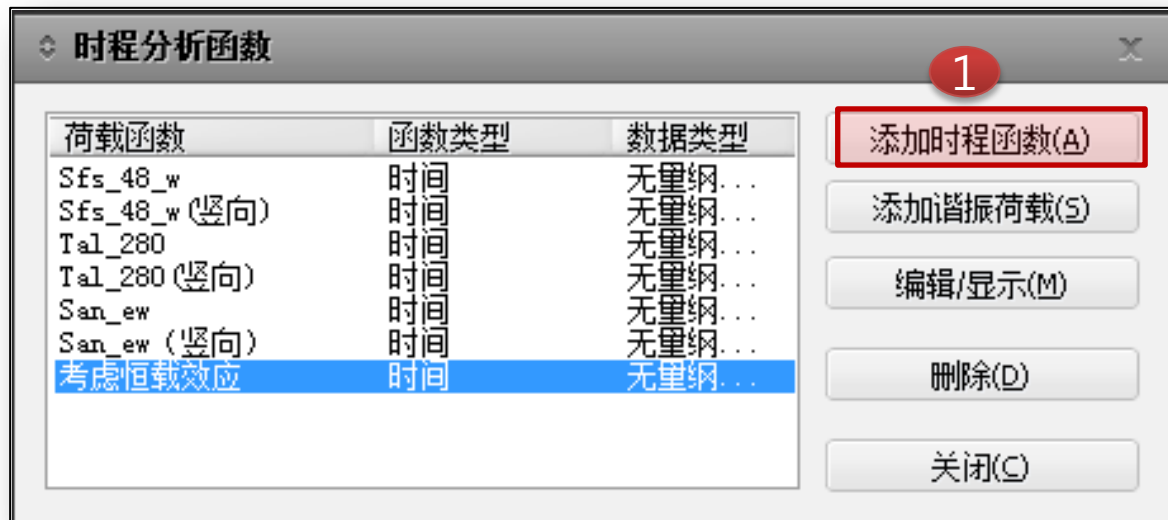
- (1) 荷载如何添加：其中包括恒载和地震荷载。
- (2) 弹塑性铰如何定义，并如何分配给相应单元。

## 4. 动力荷载的添加

### 4.1 通过时变静力荷载考虑恒载效应

时程分析不像反应谱分析可以采用荷载组合的方式考虑地震荷载与恒载累加效应。故，civil中可以采用时变静力荷载的形式首先将恒载通过很短的时间（1s）以动力荷载的形式施加。具体步骤如下：

#### (1) 添加时程函数



添加/编辑/显示时程函数

函数名称:

时间函数数据类型:  无量纲加速度  加速度  力  弯矩  无量纲

放大:  放大系数:   最大值:

重力加速度:  m/sec<sup>2</sup>

图形选项:  X-轴对数刻度  Y-轴对数刻度  F.F.T

	时间(sec)	函数
1	0.0000	0.0000
2	1.0000	1.0000
3		

说明:

生成地震反应谱...

确认 取消 适用

注意:

1.单位选为无量纲,表示仅在1秒内将荷载(恒载)从0到1施加。

## (2) 添加时程荷载工况

注意：

- 1.像静力分析相同，动力分析也必须定义荷载工况，查看结果以荷载工况的形式查看。
- 2.与静力荷载不同。这里需要定义动力分析的分析方法。

添加/编辑时程荷载工况

名称:  说明:

分析类型:  线性  非线性

分析方法:  振型叠加法  直接积分法  静力法

时程类型:  瞬态  周期

步长:  输出时间步长(步骤数):

加载顺序:  
 接续前次:  荷载工况:    
 初始单元内力(表格)  
 累加位移/速度/加速度结果  保持最终步骤荷载不变

静力加载控制  
忽略用户分配的时间函数。  
增量法:  
 荷载控制  位移控制

控制选项  
系数:

输出选项  
 累加的荷载增幅时程

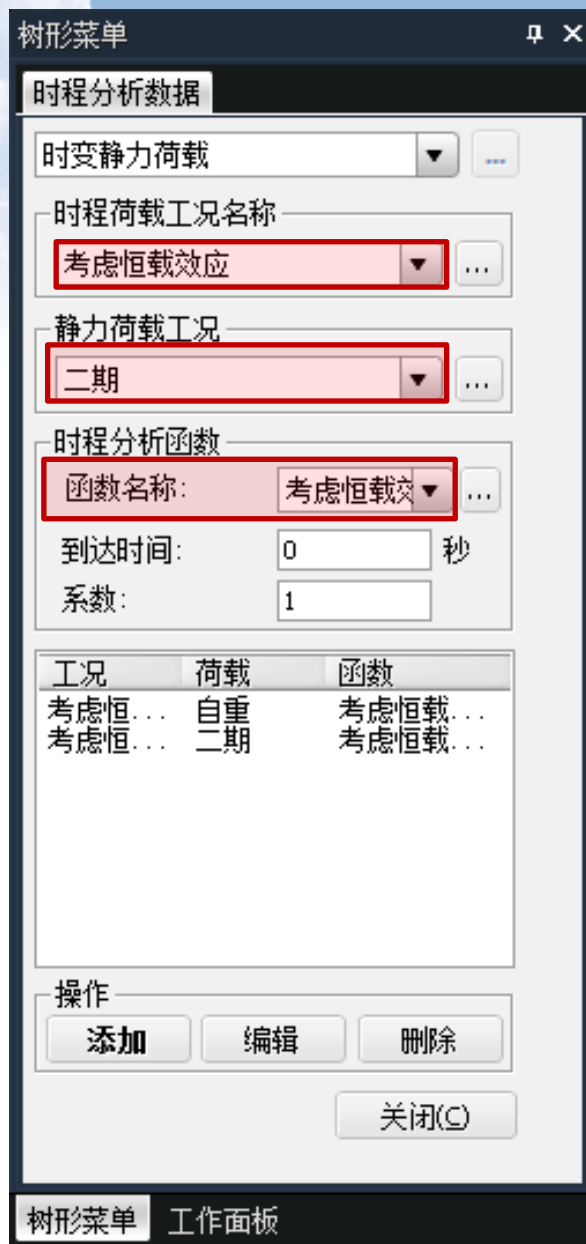
时间积分参数  
Newmark 方法:  常加速度  线性加速度  用户输入  
Gamma:  Beta:

非线性分析控制参数  
 迭代计算

### (3) 添加时变静力荷载

注意：

- 1.本操作目的是将自重及二期荷载以动力（1s内从无到有）的形式添加到结构上。
- 2.最终效果是将静力荷载工况对应的荷载以动力的形式添加到结构后转化为时程（动力）荷载工况。
- 3.时程分析函数确定加载的形式（随时间加载的量级）。



## 4.2 添加接续恒载的地震荷载

从时变静力荷载的添加方式可以发现，动力荷载添加一般三步：

### 步骤1

- 确定动力荷载随时间的变化情况（时程函数）
- 恒载——1s加载 地震荷载——随时间地震加速度的变化情况（地震波）

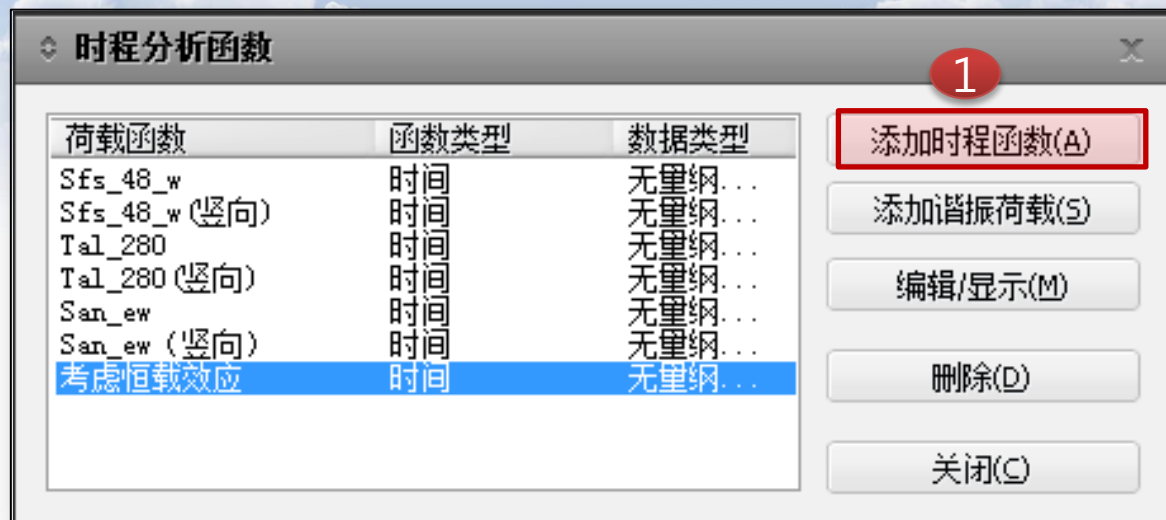
### 步骤2

- 确定动力分析方法（定义荷载工况）
- 恒载——非线性静力法 地震荷载——接续前次的非线性直接积分法

### 步骤3

- 添加具体的荷载
- 恒载——时变静力荷载 地震——地面加速度

## (1) 添加时程函数 (地震波)



添加/编辑/显示时程函数

函数名称: Sfs\_48\_w

时间函数数据类型:  无量纲加速度  加速度  力  弯矩  无量纲

放大:  放大系数: 0.5916  最大值: 0 g

重力加速度: 9.806 m/sec<sup>2</sup>

图形选项:  X-轴对数刻度  Y-轴对数刻度  F.F.T

	时间 (sec)	函数 (g)
1	0.0200	0.0011
2	0.0400	-0.0015
3	0.0600	-0.0052
4	0.0800	-0.0093
5	0.1000	-0.0176
6	0.1200	-0.0279
7	0.1400	-0.0255
8	0.1600	-0.0095
9	0.1800	0.0067
10	0.2000	0.0187
11	0.2200	0.0235
12	0.2400	0.0161
13	0.2600	0.0014
14	0.2800	-0.0049

说明: Earthquake RecordUser EQ : Sfs\_48\_w

生成地震反应谱...

确认 取消 适用

注意:

- 1.具体的地震波添加方式详见选波部分。
- 2.注意根据地震波数据的类型选择无量纲加速度或加速度。

地震波数据一般有两种, 随时间变化实际的加速度值/g的倍数。



## (2) 定义时程荷载工况

添加/编辑时程荷载工况

一般

名称: 地震效应 (波1) 说明:

分析类型:  线性  非线性

分析方法:  振型叠加法  直接积分法  静力法

时程类型:  瞬态  周期

分析时间: 50 sec 分析时间步长: 0.02 sec

输出时间步长 (步骤数): 1

加载顺序

接续前次:  荷载工况: TH : 考虑恒载效应  初始单元内力 (表格)

累加位移/速度/加速度结果  保持最终步骤荷载不变

注意:

1. 每条地震波单独定义荷载工况。
2. 分析方法采用非线性直接积分法。
3. 分析步长, 特征周期的1/10或者地震波记录的时间间隔。
4. 勾选累加位移的目的是查看恒载作用下的地震效应。

## (2) 定义时程荷载工况

阻尼

阻尼计算方法: **质量和刚度因子** 7

质量和刚度因子

阻尼类型:

质量因子     刚度因子

直接输入:    0    0

从模型阻尼中计算:    0.39666573232%    0.00603557955%

因子计算

	振型 1	振型 2
<input type="radio"/> 频率 [Hz]:	0	0
<input checked="" type="radio"/> 周期 [秒]:	0.955	0.629
阻尼比:	0.05	0.05

8

显示阻尼比...

时间积分参数

Newmark 方法:    Gamma: 0.5    Beta: 0.25

常加速度     线性加速度     用户输入

非线性分析控制参数

迭代计算    迭代控制...

更新阻尼矩阵:     否     是

确认    取消    适用

注意:

1. 阻尼的计算方法根据规范建议采用瑞利阻尼的方法。
2. 输入特征周期为基频及高阶振型对应频率
3. 对于混凝土结构阻尼比填0.05
4. 时间积分参数选择长加速度是稳定收敛的。

结构的阻尼一般可分为如下几种形式：

### 比例阻尼

质量比例型 刚度比例型 瑞利型 柯西型

□

### 非比例阻尼

能量比例型

各单元阻尼

### 各单元阻尼

粘性阻尼(Voigt型、Maxwell型)

滞回型阻尼

摩擦型阻尼

- 内部摩擦型阻尼(材料阻尼)
- 外部摩擦型阻尼
- 滑动摩擦阻尼
- 离散阻尼

比例阻尼又称为古典阻尼(Classical Damping)，是指阻尼与质量或刚度矩阵成比例。一般结构的动力分析可以使用比例阻尼，比例阻尼可分解为各振型的阻尼。

非比例阻尼是指阻尼不与质量或刚度矩阵成比例，一般用于由不同材料构成的结构或具有消能减震装置的结构。非比例阻尼不能直接分解为各振型的阻尼，需要通过振型形状计算各振型的应变能和耗能来计算各振型的阻尼比。

**6.3.2** 桥梁结构动力计算模型应能正确反映桥梁上部结构、下部结构、支座和地基的刚度、质量分布及阻尼特性，从而保证在 E1 和 E2 地震作用下引起的惯性力和主要振型能得到反映。一般情况下，桥梁结构的动力计算模型应满足下列要求：

- 1 计算模型中的梁体和墩柱可采用空间杆系单元模拟，单元质量可采用集中质量代表；墩柱和梁体的单元划分应反映结构的实际动力特性。
- 2 支座单元应反映支座的力学特性。
- 3 混凝土结构的阻尼比可取为 0.05；进行时程分析时，可采用瑞利阻尼。
- 4 计算模型应考虑相邻结构和边界条件的影响。

瑞利阻尼改善了刚度比例型阻尼在计算高阶振型的影响时的缺陷，将阻尼表现为质量矩阵和刚度矩阵的线性组合。当已知第*i*个振型和第*j*个振型的阻尼比和圆频率时，瑞利阻尼的阻尼矩阵和各振型的阻尼比如下。第*i*、*j*个振型必须是结构的主振型。

$$C = a_0 M + a_1 K \quad \xi_i = \frac{1}{2} \left( \frac{a_0}{\omega_i} + a_1 \cdot \omega_i \right)$$

$$a_0 = \frac{2 \cdot \omega_i \cdot \omega_j (\xi_i \cdot \omega_j - \xi_j \cdot \omega_i)}{(\omega_j^2 - \omega_i^2)}$$

$$a_1 = \frac{2 (\xi_j \cdot \omega_j - \xi_i \cdot \omega_i)}{(\omega_j^2 - \omega_i^2)}$$

两个振型的频率和对应的阻尼比分别为  $f_1 = 1.0\text{Hz}$ ,  $f_2 = 1.25\text{Hz}$ ,  $\xi_1 = 0.05$ ,  $\xi_2 = 0.05$ , 则计算  $a_0$  和  $a_1$  值的过程如下:

(1) 计算圆频率:

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{1.0} = 6.28, \omega_2 = \frac{2\pi}{0.8} = 7.85 \quad (2.4.14)$$

(2) 使用公式 (2.4.12) 和 (2.4.13) 计算  $a_0$  和  $a_1$  (手算):

$$a_0 = \frac{2 \times 6.28 \times 7.85 (0.05 \times 7.85 - 0.05 \times 6.28)}{7.85^2 - 6.28^2} = 0.349 \quad (2.4.15)$$

$$a_1 = \frac{2 (0.05 \times 7.85 - 0.05 \times 6.28)}{7.85^2 - 6.28^2} = 0.007 \quad (2.4.16)$$

振型参与质量

模态号	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
	质量(%)	合计(%)	质量(%)	合计(%)	质量(%)	合计(%)	质量(%)	合计(%)	质量(%)	合计(%)	质量(%)	合计(%)
1	13.10	13.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.59	0.00	0.00
2	49.87	62.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.25	2.84	0.00	0.00
3	0.00	62.97	51.94	51.94	0.00	0.00	20.62	20.62	0.00	2.84	0.00	0.00
4	0.00	62.97	0.00	51.94	0.00	0.00	0.00	20.62	0.00	2.84	46.52	46.52
5	0.00	62.97	0.00	51.94	4.41	4.41	0.00	20.62	0.01	2.86	0.00	46.52
6	0.02	62.99	0.00	51.94	0.02	4.42	0.00	20.62	2.81	5.67	0.00	46.52
7	0.76	63.74	0.00	51.94	0.00	4.42	0.00	20.62	6.56	12.23	0.00	46.52
8	0.00	63.75	0.00	51.94	0.07	4.49	0.00	20.62	0.01	12.23	0.00	46.52
9	1.90	65.65	0.00	51.94	0.00	4.49	0.00	20.62	3.86	16.09	0.00	46.52

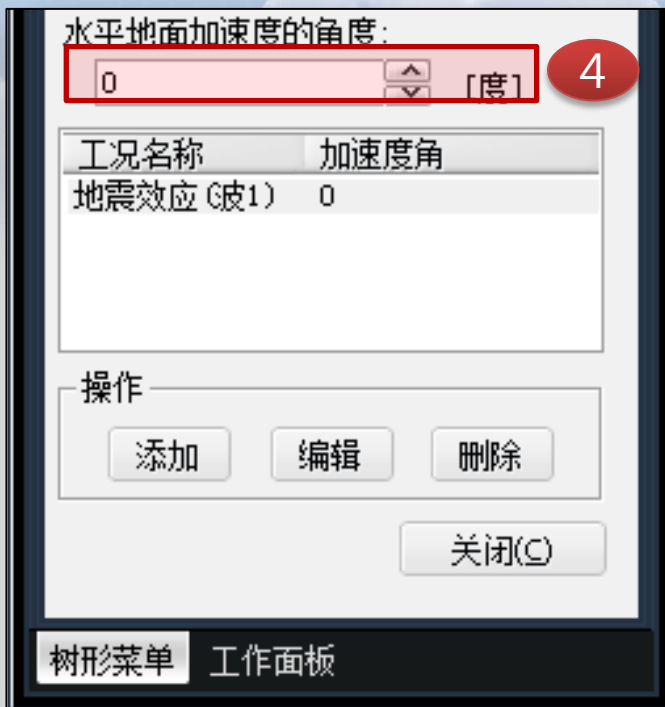
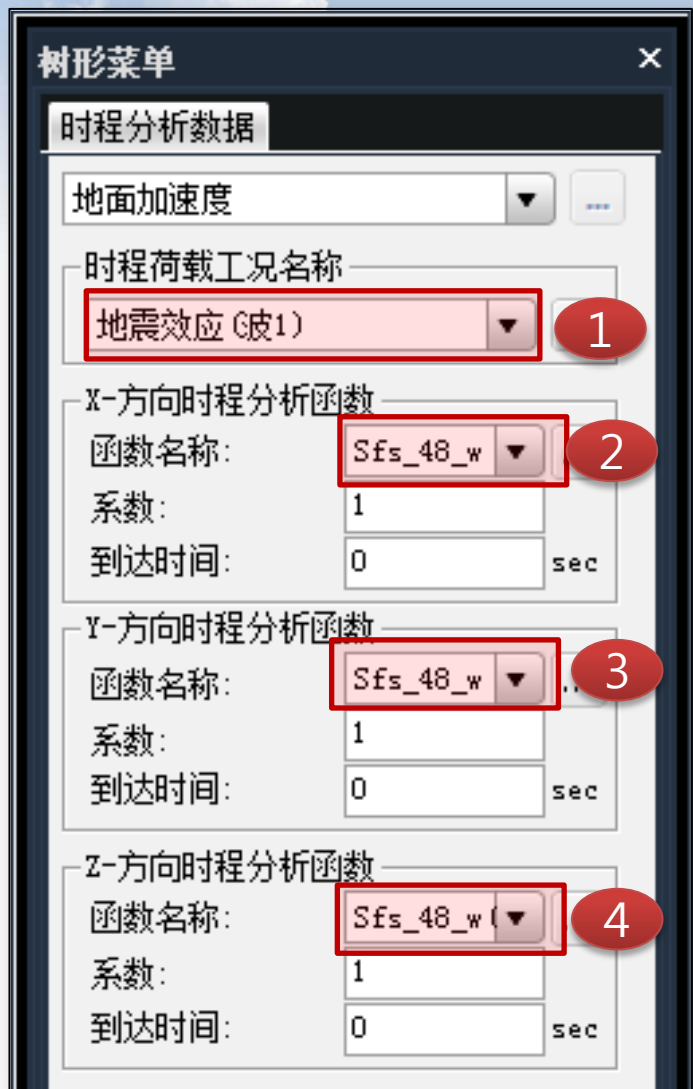
主振型：  
两个方向质量参与最大的振型

特征值分析

模态号	频率		周期	容许误差
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
1	6.578955	1.047073	0.955043	0.0000e+000
2	6.579009	1.047082	0.955035	0.0000e+000
3	9.991042	1.590124	0.628882	0.0000e+000
4	16.466699	2.620756	0.381569	0.0000e+000
5	17.740741	2.823527	0.354167	0.0000e+000
6	17.804169	2.833621	0.352905	0.0000e+000
7	21.829122	3.474213	0.287835	0.0000e+000
8	21.982980	3.498700	0.285820	0.0000e+000
9	23.243310	3.699288	0.270322	0.0000e+000

查看对应振型的周期

## (3) 添加地面加速度



注意:

1. 每条地震波独立的定义一个地面加速度荷载。
2. 曲线桥在步骤4参照规范调整地震波的角度。

6.3.5 进行直线桥梁地震反应分析时,可分别考虑沿顺桥向和横桥向两个水平方向地震输入;进行曲线桥梁地震反应分析时,可分别沿相邻两桥墩连线方向和垂直于连线水平方向进行多方向地震输入[用曲梁单元时,只需计算一联两端连线(割线)和垂直割线方向的地震输入],以确定最不利地震水平输入方向。



## 至此小结：

动力荷载通过上述方法已添加完毕。再次总结步骤如下：

### 步骤1

- 确定动力荷载随时间的变化情况（时程函数）
- 恒载——1s加载 地震荷载——随时间地震加速度的变化情况（地震波）

### 步骤2

- 确定动力分析方法（定义荷载工况）
- 恒载——非线性静力法 地震荷载——接续前次的非线性直接积分法

### 步骤3

- 添加具体的荷载
- 恒载——时变静力荷载 地震——地面加速度

## 5. 定义纤维模型

### (1) 定义纤维模型的目的：考虑材料的弹塑性特性。

弹塑性铰的类型可分为单轴铰模型、基于塑性理论的多轴铰模型、纤维模型。单轴铰模型不考虑各内力之间的相互影响，一般用于希望快速获得大致结果的简化计算中。多轴铰模型可考虑轴力和弯矩、以及两个弯矩间的相互影响，但是同样具有不能反映复杂受力影响的缺陷。纤维模型不仅可以准确模拟受弯构件的力学特性，而且可以考虑截面内纤维的局部损伤状态。另外纤维模型同样可以考虑轴力和弯矩、两个弯矩之间的相互影响，但是因为不能反映剪切破坏，所以一般用于剪切变形不大的线单元。纤维模型的计算也是基于平截面假定的。

## (2) 纤维模型的基本假定：

纤维模型的基本假定如下：

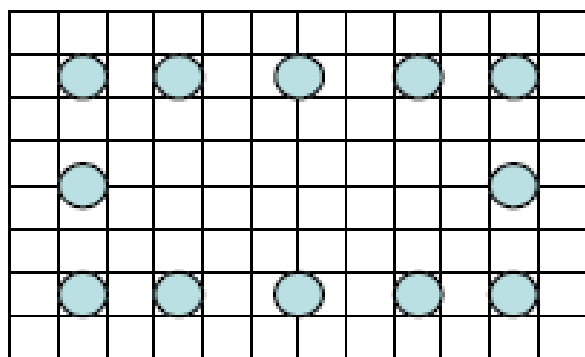
(1) 满足平截面假定，即变形过程中截面保持平面状态并与构件纵轴垂直。所以不能考虑钢筋与砼之间的粘结滑移。

(2) 单元各位置截面形心的连线为直线。

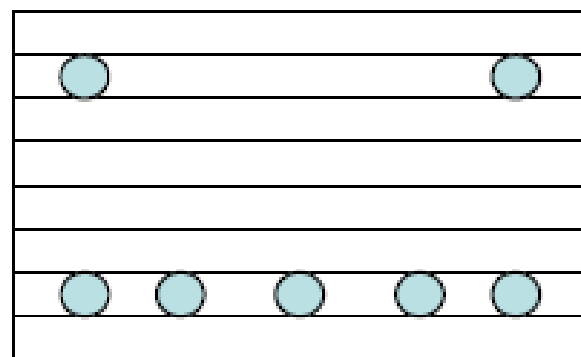
### (3) 纤维模型的计算思路：

纤维模型在分布型铰模型的各积分点上将截面分割为如图 2.9.34 所示的纤维束或层，并假设在相同的纤维或层内应力相同。各纤维可选择不同的材料，同一个截面内定义六种不同的材料(同一截面中可定义约束砼和非约束砼)，且程序支持任意形状截面。

截面内力(弯矩、轴力)通过对各纤维的应力进行积分获得，截面的刚度通过对截面的柔度矩阵取逆获得，单元的刚度可通过对积分点(集中型或分布型)进行积分获得。



纤维模型(Fiber Model)



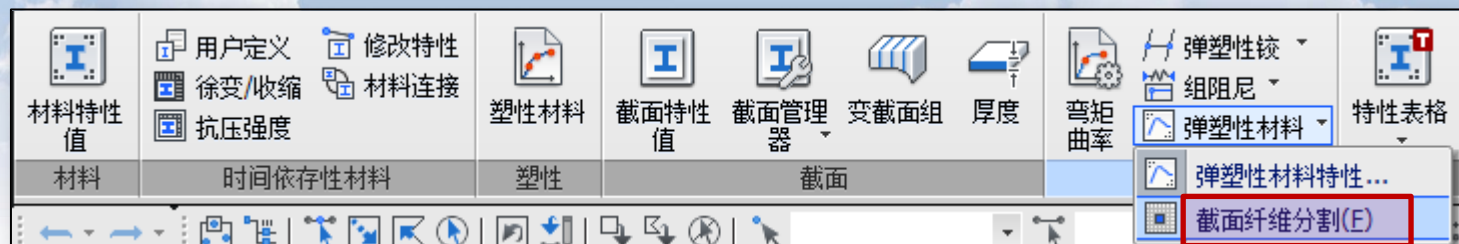
层模型(Layer Model)

图 2.9.34 纤维模型的分割方法

各纤维的轴向应变对应的纤维的应力和纤维的切线刚度可通过纤维材料的本构关系(constitutive relation)计算，并由此判断纤维的状态。将一个截面内所有纤维的应力进行积分可获得截面的轴力和弯矩，对各纤维的切线刚度进行积分可获得截面的柔度矩阵，对单元内所有积分点上的截面的柔度进行积分可得单元的柔度。

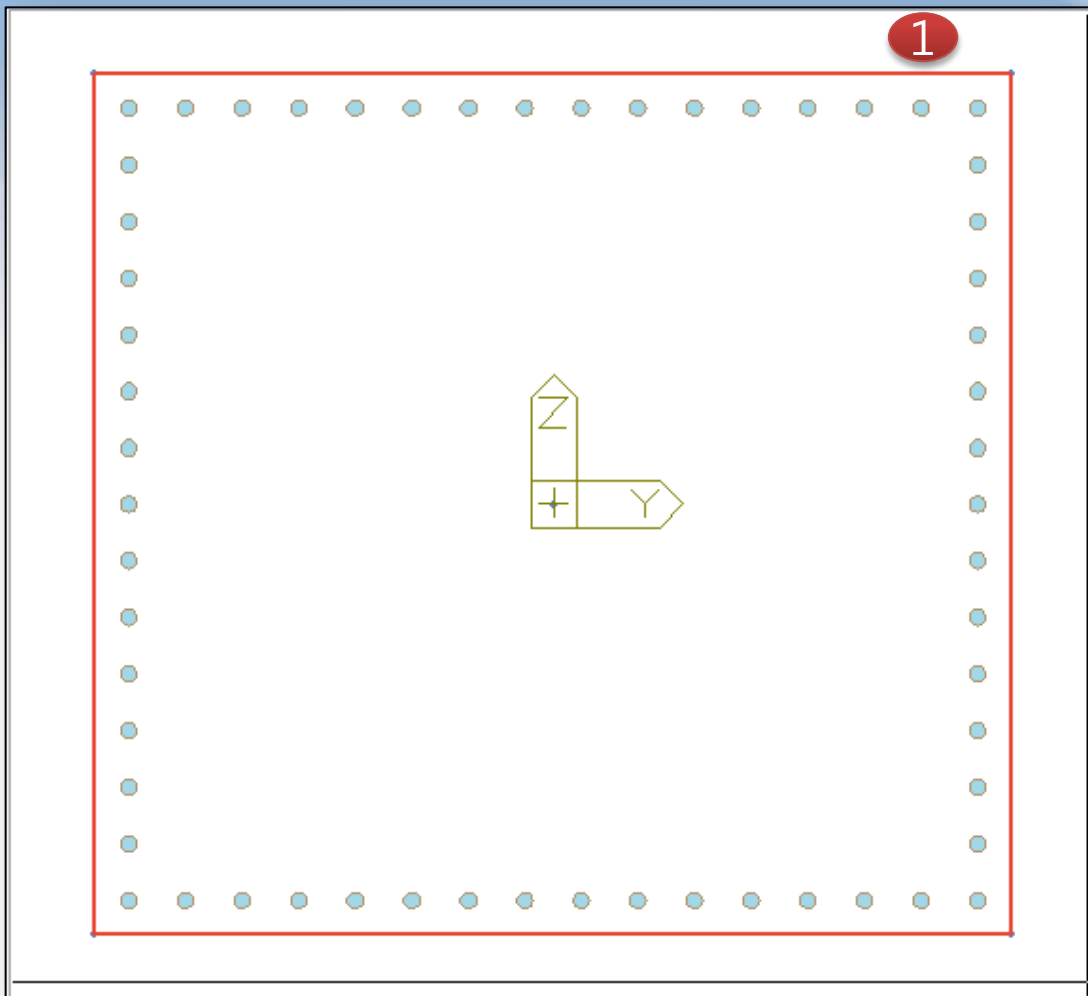
在计算过程中使用牛顿-拉普森迭代方法计算至满足收敛条件。纤维模型中单元的非线性特性表现在纤维的非线性应力-应变关系(材料本构关系)上。下面介绍程序中提供的钢材、混凝土的本构关系。

### (3) 纤维模型的定义步骤



注意:

1. 截面和钢筋均可通过3 4 5三步导入，但前提是已经在设计中定义好截面的钢筋。
2. 6步中程序默认钢筋的材料为类型1材料。
3. 程序支持此处自定义钢筋（上图蓝色区域）。



生成纤维 生成钢筋

**建立对象**

**3** 添加 删除 撤销 重做

导入保护层厚度 0 m

从边界的偏心距离 **2** 0.06 m 2

选择对象 确认 清除

设定区域 确认 清除

分割截面 分割 删除 撤销 重做

类型分割

矩形  圆形

分割数量

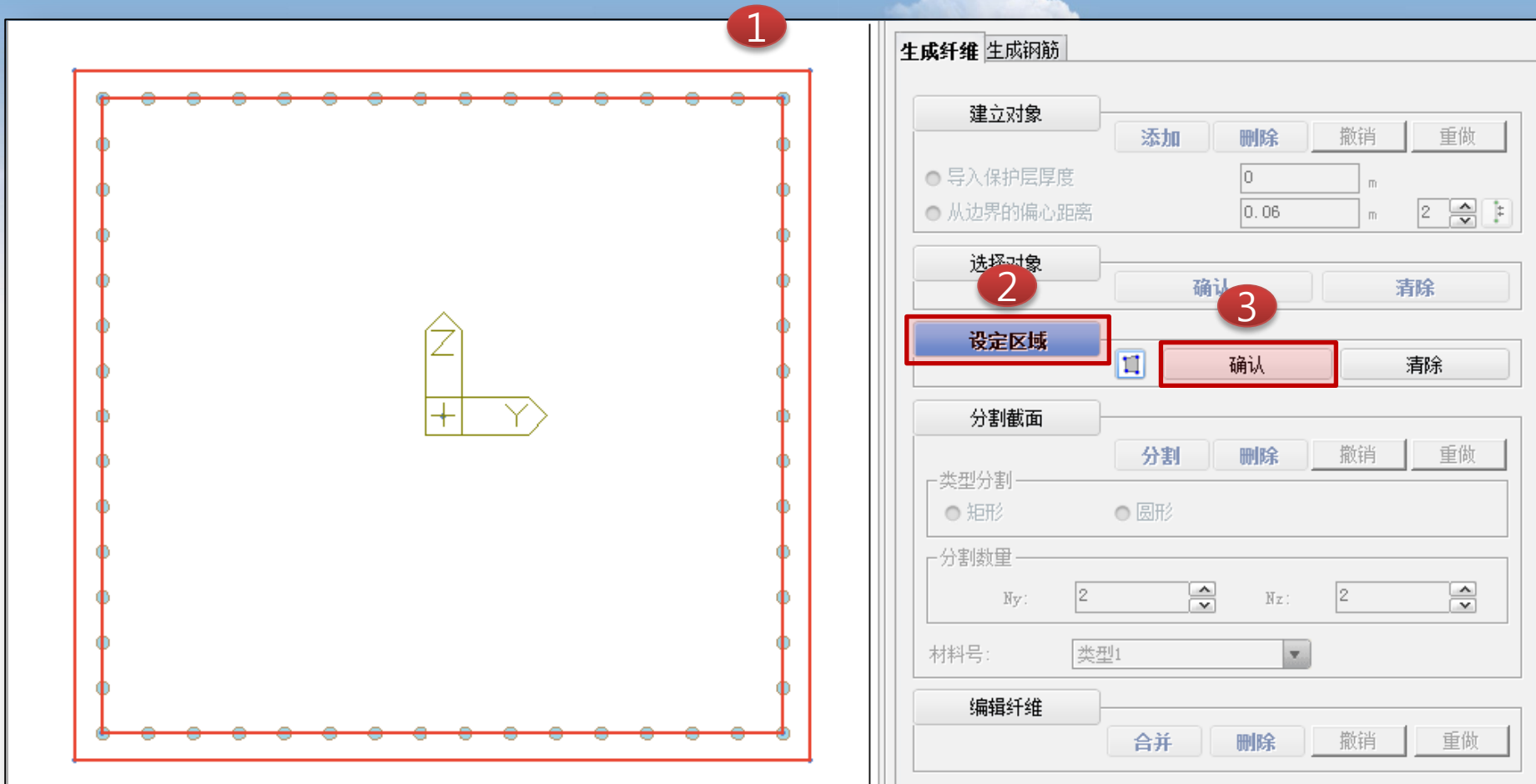
$N_y$ : 2  $N_z$ : 2

材料号: 类型1

编辑纤维 合并 删除 撤销 重做

注意:

1. 2步为选择截面外框线



1

生成纤维 生成钢筋

建立对象

添加 删除 撤销 重做

导入保护层厚度 0 m

从边界的偏心距离 0.06 m 2

2 选择对象 确认 清除

3 设定区域 确认 清除

分割截面

分割 删除 撤销 重做

类型分割

矩形  圆形

分割数量

Ny: 2 Nz: 2

材料号: 类型1

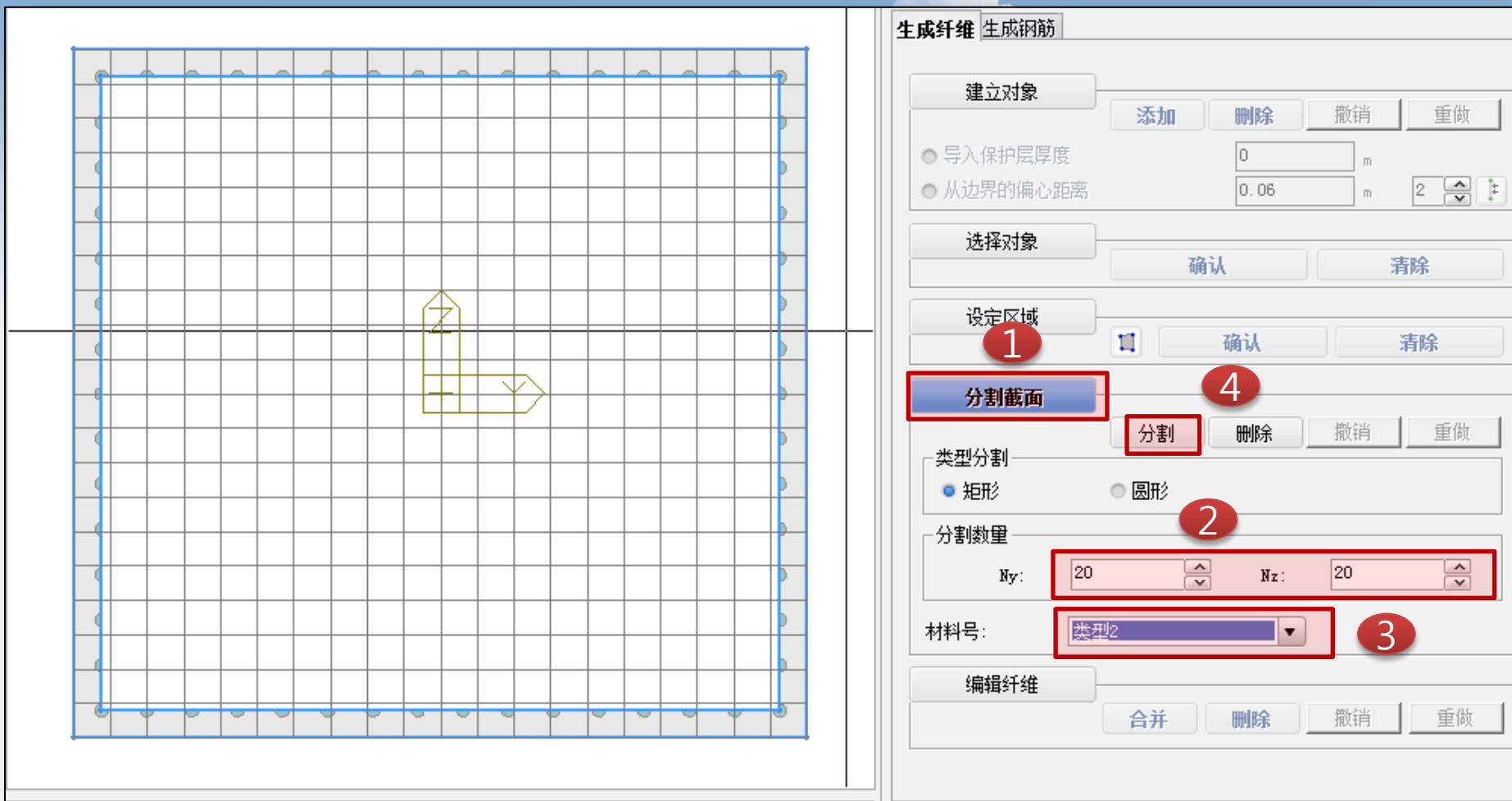
编辑纤维

合并 删除 撤销 重做

注意：

1. 1步为选择截面外框线及上页生成的保护层内线。





生成纤维 生成钢筋

建立对象

添加 删除 撤销 重做

导入保护层厚度 0 m

从边界的偏心距离 0.06 m 2

选择对象

确认 清除

设定区域

1 确认 清除

分割截面

4 分割 删除 撤销 重做

类型分割

矩形  圆形

2

分割数量

Ny: 20 Nz: 20

材料号: 类型2

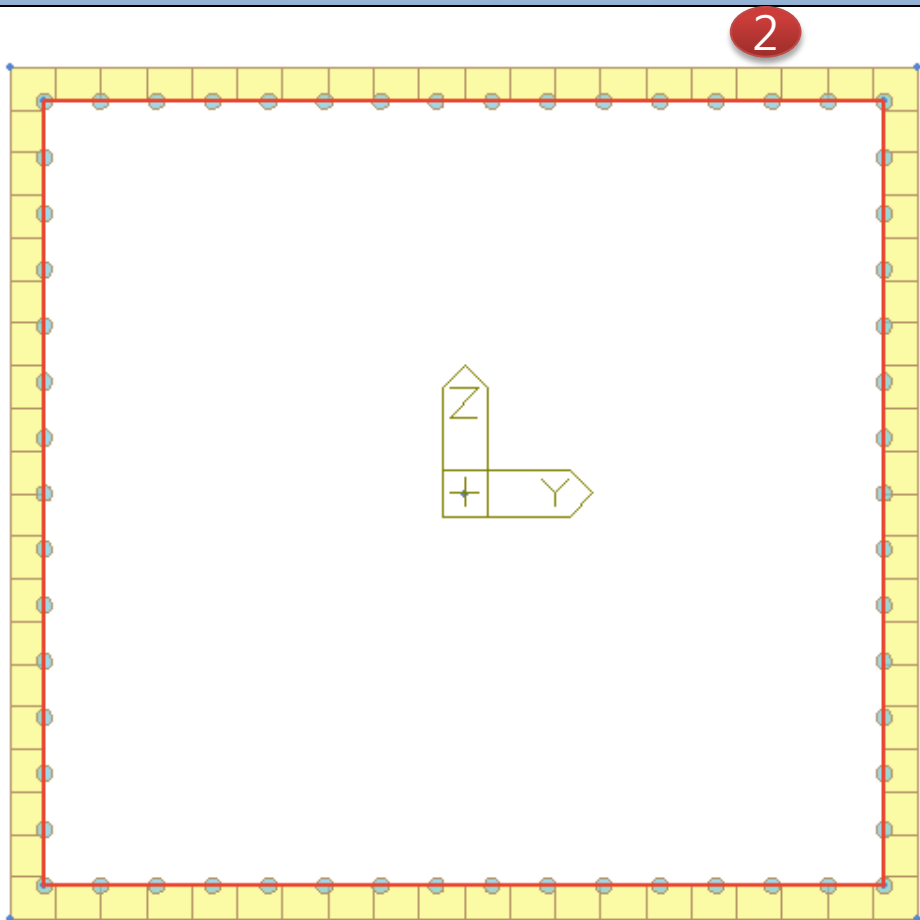
3

编辑纤维

合并 删除 撤销 重做

注意：

1. 即将被分割的区域会以阴影形式显示。
2. 必须注意修改材料号。



## 生成纤维 生成钢筋

### 建立对象

添加

删除

撤销

重做

导入保护层厚度

0

m

从边界的偏心距离

0.06

m

2

### 选择对象

确认

清除

### 设定区域

3

确认

清除

### 分割截面

分割

删除

撤销

重做

#### 类型分割

矩形

圆形

#### 分割数量

Ny:

20

Nz:

20

材料号:

类型2

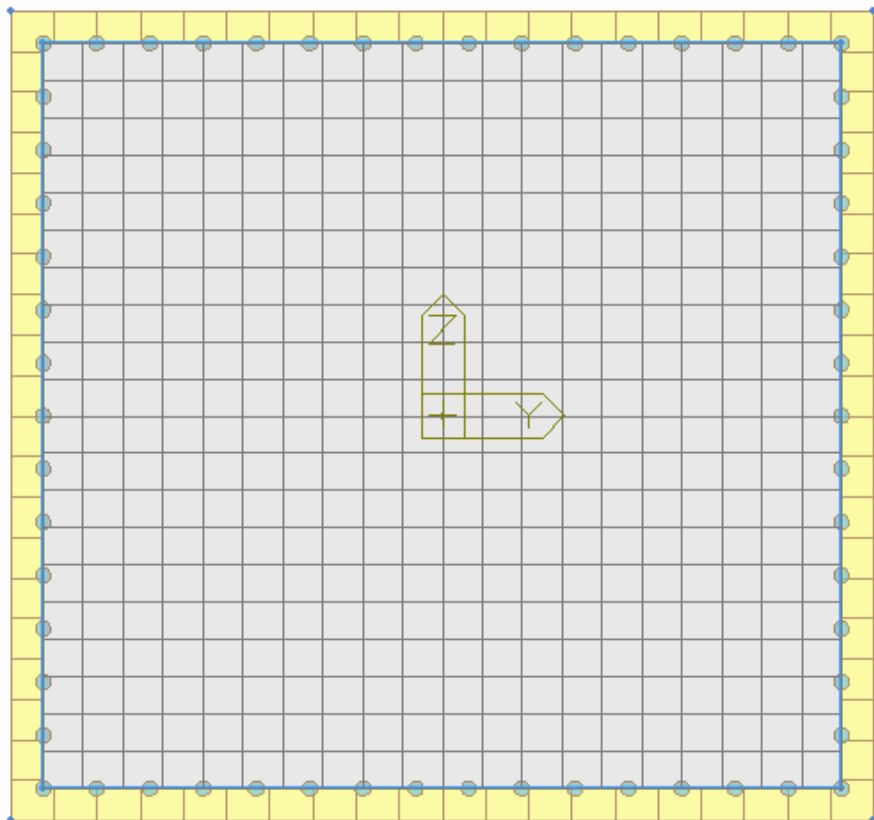
### 编辑纤维

合并

删除

撤销

重做



## 生成纤维 生成钢筋

建立对象

添加

删除

撤销

重做

导入保护层厚度

0 m

从边界的偏心距离

0.06 m

2

选择对象

确认

清除

设定区域

1



确认

清除

分割截面

分割

删除

撤销

重做

类型分割

矩形

圆形

2

分割数量

Ny:

20

Nz:

20

材料号:

类型3

3

编辑纤维

合并

删除

撤销

重做

名称: 矩形墩
截面名称: 3: 墩截面

**纤维材料特性值**

类型1: 钢筋	...	类型4: 钢筋	...
类型2: 无约束混凝土	...	类型5: 钢筋	...
类型3: 约束	...	类型6: 钢筋	...

**生成纤维 生成钢筋**

建立对象: 添加 删除 撤销 重做

导入保护层厚度:  m  
 从边界的偏心距离:  m

选择对象: 确认 清除

设定区域: 确认 清除

**分割截面**

矩形  圆形

分割数量: Ny:  Nz:

材料号:

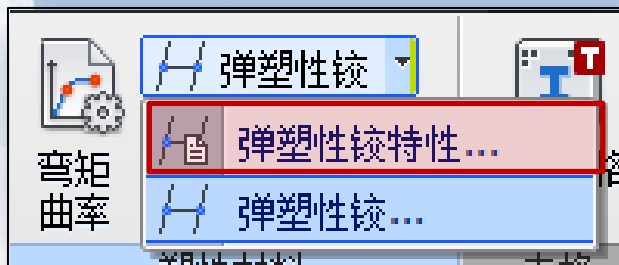
编辑纤维: 合并 删除 撤销 重做

适用 确认 关闭

注意:

1. 最终程序以不同颜色显示不同材料。

## 6. 定义并分配弹塑性铰



注意：

1. Civil考虑结构的弹塑性特性，通过定义并分配弹塑性铰的方式实现。

2. Civil提供的弹塑性铰的类型有两种：  
骨架铰和纤维铰。



## 6.1. 定义纤维铰

添加/编辑非线性铰特性值

名称: 纤维铰

说明:

屈服强度(面)计算方法  
 用户输入  自动计算

类型  
 梁-柱  
     集中  
     分布 ①  
 弹簧  
 桁架

定义  
 骨架  
 纤维 ②

作用类型  
 无  
 强度P-M  
 状态P-M-M

材料  
类型:  钢材  钢筋混凝土 ③  
 SRC (内填)  
 SRC (外围)  
 用户定义

规范: ACI

名称: 2 : C40 ⑤

构件  
类型:  梁  柱 ④  支撑  
单元位置:  I  J

截面  
名称: 3 : 墩截面 ⑥

特性值 ⑦

成分	铰数量	滞回模型	特性值...
<input checked="" type="checkbox"/> Fx	3	Kinematic Hardening	特性值...
<input type="checkbox"/> Fy	3	Kinematic Hardening	特性值...
<input type="checkbox"/> Fz	3	Kinematic Hardening	特性值...
<input type="checkbox"/> Mx	3	Kinematic Hardening	特性值...
<input checked="" type="checkbox"/> My	3	Kinematic Hardening	特性值...
<input checked="" type="checkbox"/> Mz	3	Kinematic Hardening	特性值...

屈服面特性值... 纤维名称: 矩形墩

确认 取消 适用

注意:

1. 纤维铰必须选择分布铰。
2. 纤维铰无需选择滞回模型的类型。
3. 注意根据结构的实际情况选择截面类型和截面的材料。
4. 纤维模型的定义见本文前面章节。
5. 分布铰和集中铰的区别是分布铰考虑单元任何位置都可能出现塑性铰，集中铰仅考虑单元端点及中心出现塑性铰。

7

### 铰特性值

**类型**

对称     非对称

---

**屈服特性值**

输入方法

用户输入     **自动计算**

---

输入类型

**强度-刚度折减率**

强度-屈服位移

---

**屈服强度**

	(t)	(c)	
P1	9107.824	88448.35	kN
P2	11955.27	88448.35	kN

---

**刚度折减率**

	(t)	(c)
Alpha1	0.5	0.5
Alpha2	0.1	0.1

**第一曲线**

---

**变形指数**

延性系数:     D/D1     **D/D2**

铰状态:

Level	(t)	(c)
1	0.5	0.5
2	1	1
3	2	2
4	4	4
5	8	8

---

**初始刚度**

6EI/L     3EI/L     2EI/L

用户  kN

**弹性刚度**

骨架曲线

注意:

1.铰的特性值程序可以自动考虑截面的配筋情况及材料的本构关系计算求得。

## 6.3. 分配塑性铰



注意:

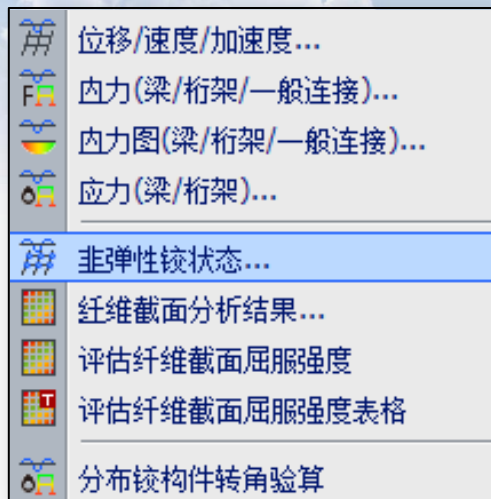
- 1.本操作目的将定义好的塑性铰赋予相应单元。
- 2.不同的墩（截面、配筋）应定义不同的塑性铰。
- 3.程序支持从其它模型中导入塑性铰特性值。





## 7 查看时程结果

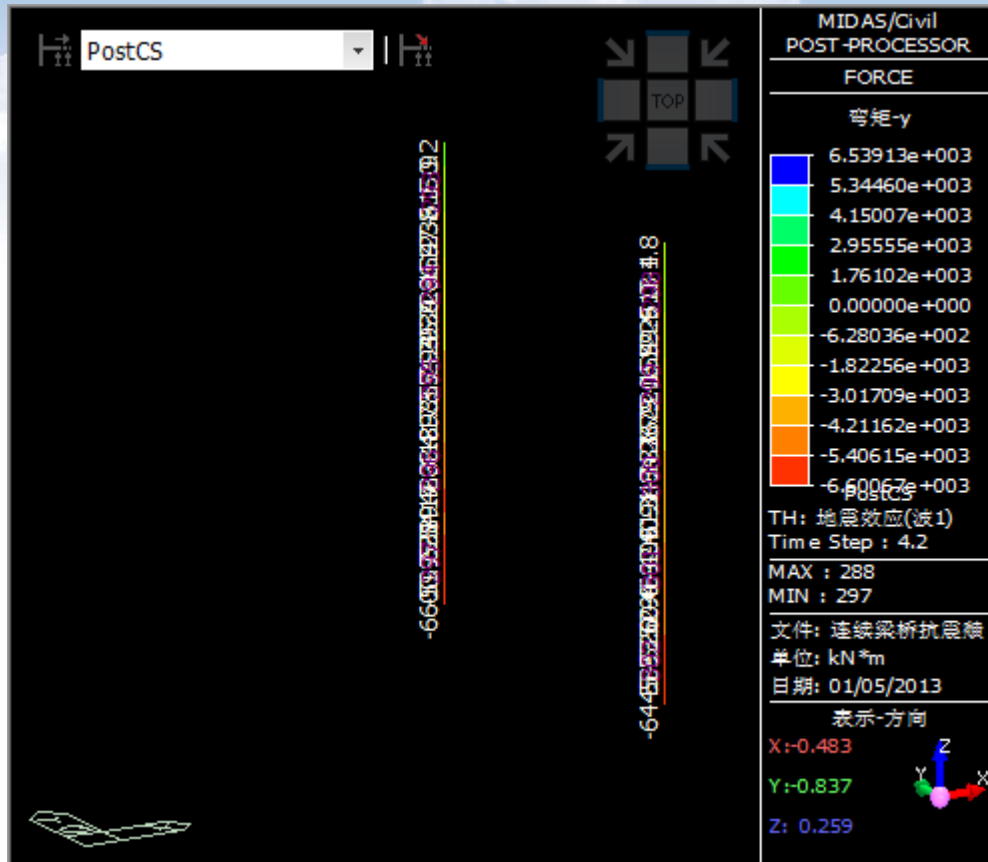
### 7.1 查看非弹性铰状态——不同点随时间变化的状态



注意:

1. 单纯查看内力可以选择左图“内力图”。
2. 非弹性铰状态可以得到塑性铰更详细的结果。

## (1) 查看铰内力位移结果



注意:

- 1.通过激活关注的结构组方便查询结果。
- 2.注意输出的方向，是单元局部坐标的结果。



注意:

1

1.同一荷载工况下可以有多条地震波, 通过步骤3选择具体查看哪条。

2

2.内力结果为单元坐标方向上的结果。

3

3.变形结果与内力结果查看方法一致, 但须注意变形结果为整体坐标系下结果。

4

5

## (2) 查看塑性铰状态

树形菜单

非弹性铰状态

非弹性铰状态

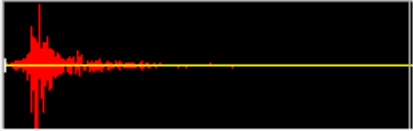
函数

时程荷载工况名称

地震效应 (波1)

步骤: 0.14

时间函数: Sfs\_48\_w



结果类型

- 铰状态
- 延性系数 (D/D1)
- 延性系数 (D/D2)
- 变形
- 内力
- 屈服状态

成分

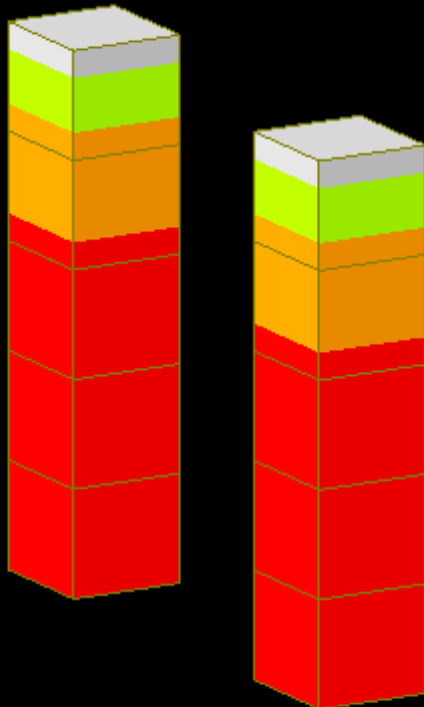
- Dx
- Dy
- Dz
- Rx
- Ry
- Rz

数值类型

- 正
- 负

PostCS

TOP




MIDAS/Civil  
POST-PROCESSOR  
HINGE STATUS

Ry

- Level 5
- Level 4
- Level 3
- Level 2
- Level 1

PostCS  
TH: 地震效应(波1)  
Time Step: 0.14  
MAX: 97  
MIN: 96  
文件: 连续梁桥抗震模  
单位: 无  
日期: 01/06/2013  
表示-方向  
X: -0.483  
Y: -0.837  
Z: 0.259



## (2) 查看塑性铰状态

铰特性值
✕

**类型**

对称     非对称

---

**屈服特性值**

输入方法

用户输入     自动计算

---

输入类型

强度-刚度折减率

强度-屈服位移

---

**屈服强度**

	(+)	(-)	
P1	500	500	kN*mm
P2	1000	1000	kN*mm

---

**刚度折减率**

	(+)	(-)
Alpha1	0.5	0.5
Alpha2	0.1	0.1

**第一曲线**

---

**变形指数**

延性系数:     D/D1     D/D2

铰状态:

Level	(+)	(-)
1	0.5	0.5
2	1	1
3	2	2
4	4	4
5	8	8

---

**初始刚度**

6EI/L     3EI/L     2EI/L

用户  kN\*mm<sup>2</sup>

弹性刚度

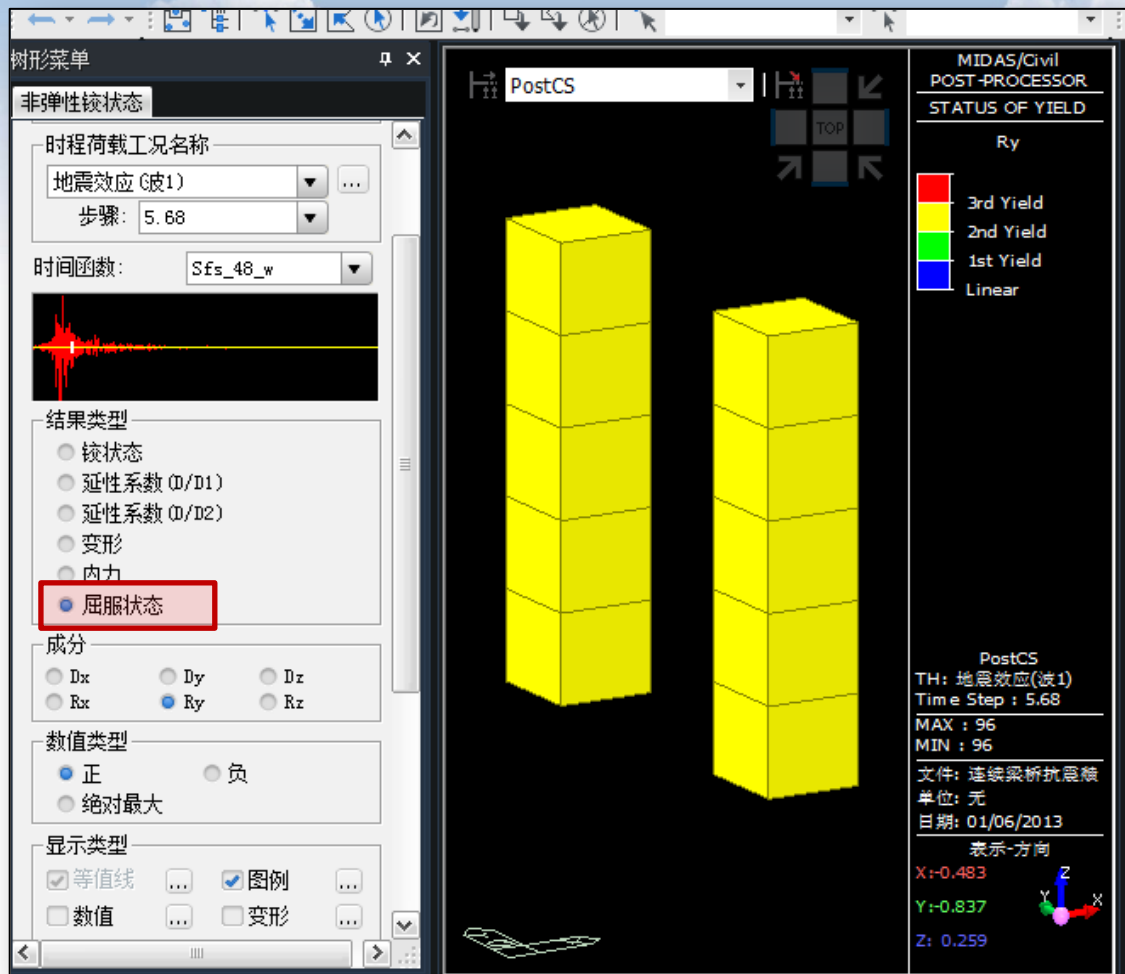
骨架曲线

确认
取消

注意:

- 1.上页图中图例中出现level1~level5, 表示塑性铰的屈服状态。具体屈服等级的划分界限见右图。
- 2.纤维模型如果没有定义铰特性值, 程序不会输出此项结果。

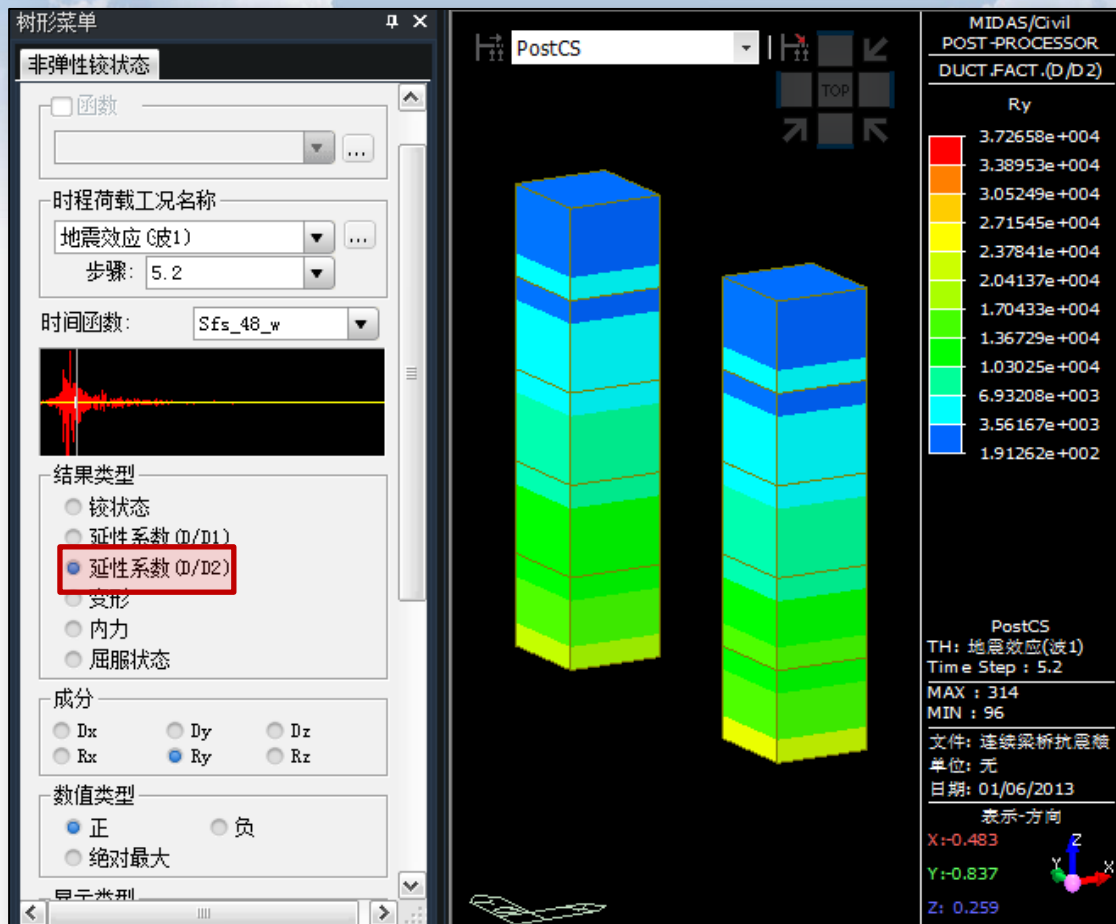
## (2) 查看塑性铰屈服状态



注意:

- 1.图例中可以看到程序用三种颜色表示铰所处的状态: 线性/三个区域。
- 2.本例为三折线模型故仅考虑四个区域。如选择武田四折线, 将出现5个区域。
- 3.区域划分点分别为: 原点, 开裂点(第一次屈服), 屈服点(第二次屈服)。

## (3) 查看塑性铰延性系数



注意:

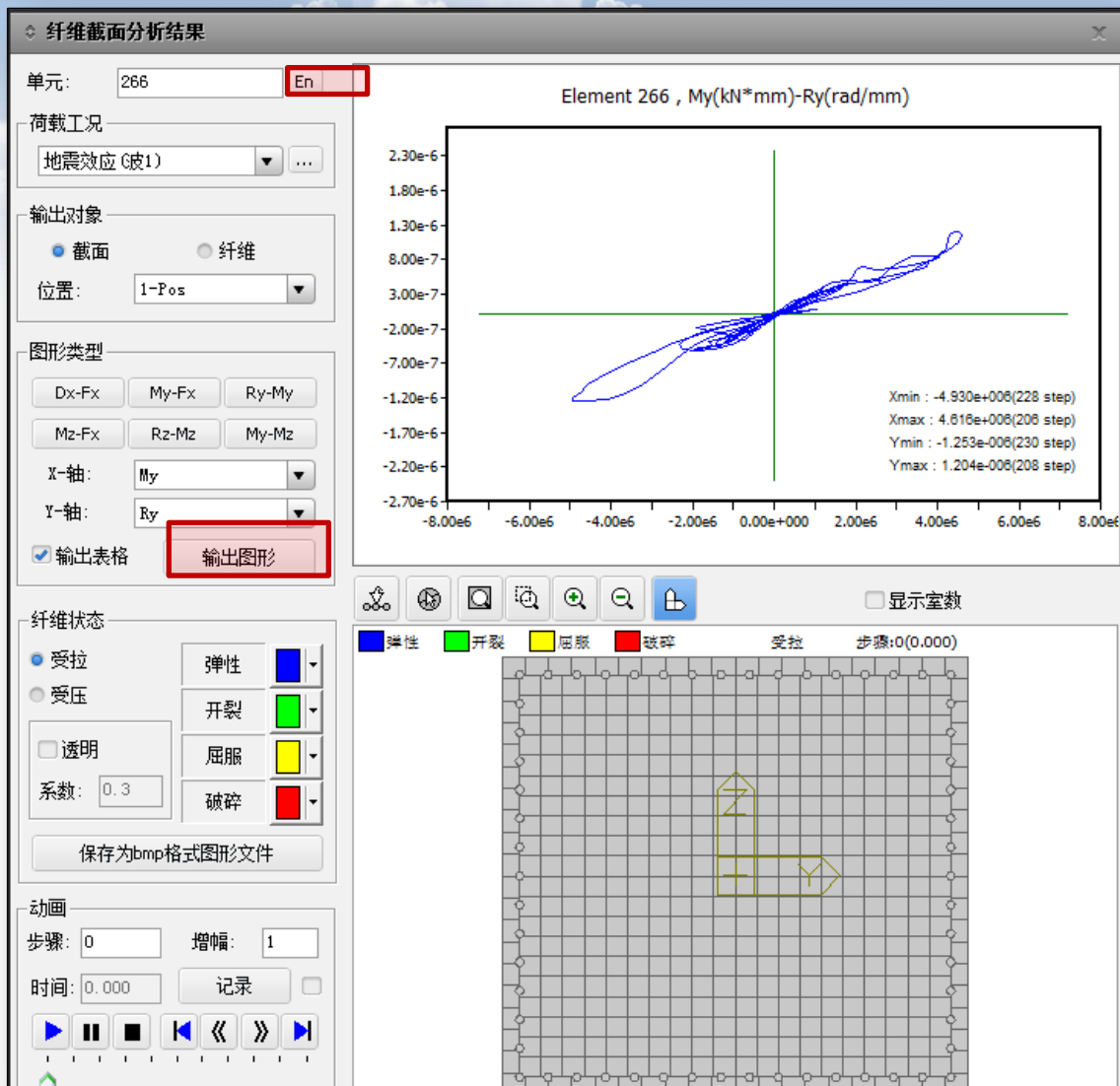
- 1.延性系数顾名思义就是对应变形与屈服点变形的比值。铰状态level水平根据此值划分。
- 2.D1 D2分别表示第一屈服于第二屈服点（开裂状态及屈服状态）。

## 7.2 查看纤维截面分析结果——单元截面随时间变化的状态

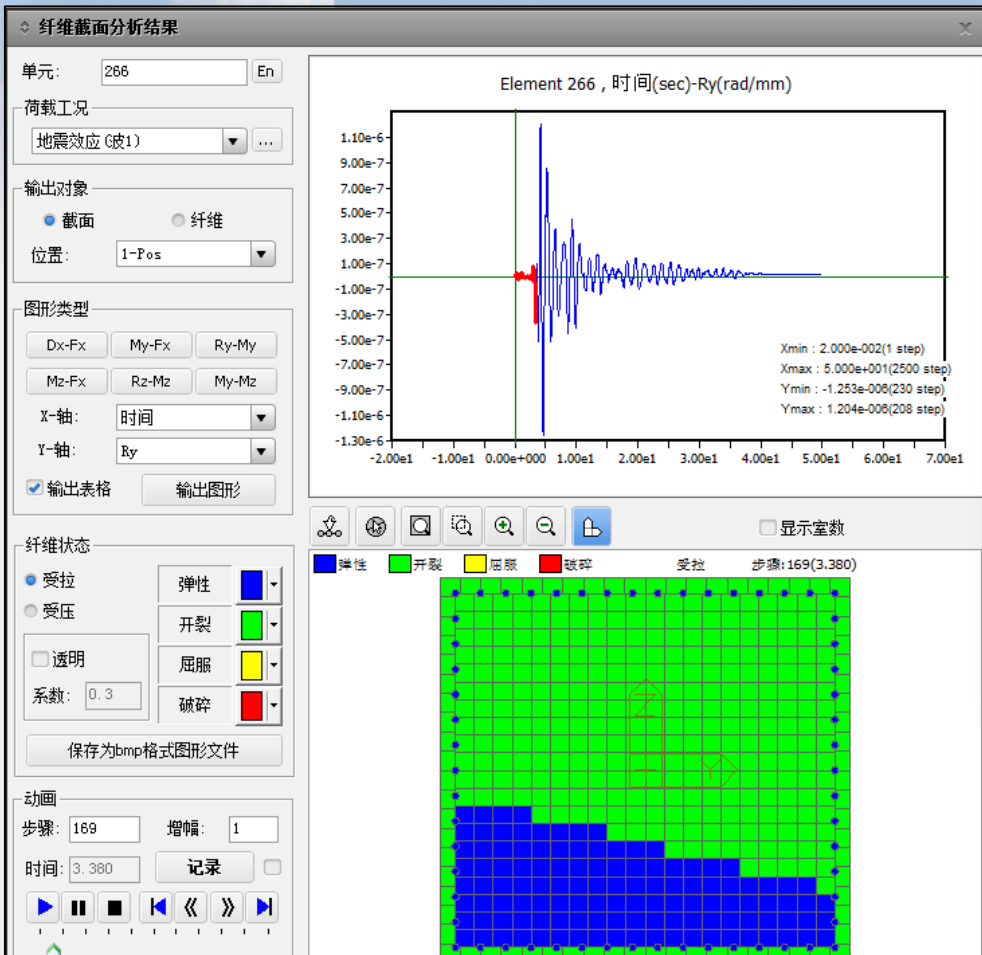


注意:

- 1.纤维分析结果可以得到单元截面的详细计算结果。
- 2.输入单元号后一定要点击右边的en键。
- 3.点击输出图形后会同时弹出时程表格（见下页图）







时程表格

Step	Time (sec)	Dx	Ry (rad/mm)	Rz (rad/mm)	Fx (kN)	My (kN*mm)	Mz (kN*mm)
167	3.340	3.161e-005	-2.132e-007	-1.706e-007	-8.670e+002	-1.770e+006	-1.568e+006
168	3.360	1.050e-004	-2.740e-007	-1.636e-007	4.068e+002	-1.204e+006	-1.128e+006
169	3.380	2.293e-004	-3.685e-007	-9.499e-008	1.760e+003	-8.367e+005	-5.125e+005
170	3.400	3.036e-004	-3.685e-007	-1.233e-008	2.428e+003	-7.051e+005	-1.637e+005
171	3.420	3.319e-004	-3.289e-007	8.321e-008	2.576e+003	-6.411e+005	1.029e+005
172	3.440	3.179e-004	-2.688e-007	1.751e-007	2.409e+003	-5.410e+005	3.782e+005
173	3.460	2.565e-004	-1.914e-007	2.601e-007	1.778e+003	-4.775e+005	7.145e+005
174	3.480	1.665e-004	-8.859e-008	3.312e-007	4.601e+002	-4.187e+005	1.342e+006
175	3.500	1.023e-004	4.009e-009	3.513e-007	-1.243e+003	2.531e+004	2.143e+006
176	3.520	7.621e-005	6.116e-008	3.373e-007	-1.903e+003	4.250e+005	2.336e+006
177	3.540	7.452e-005	9.218e-008	3.234e-007	-1.835e+003	6.400e+005	2.233e+006
178	3.560	8.833e-005	1.015e-007	3.142e-007	-1.309e+003	6.686e+005	1.979e+006
179	3.580	1.091e-004	9.266e-008	3.059e-007	-5.987e+002	5.585e+005	1.656e+006
180	3.600	1.255e-004	7.248e-008	2.893e-007	2.813e+001	3.956e+005	1.321e+006
181	3.620	1.284e-004	4.284e-008	2.497e-007	4.917e+002	2.105e+005	9.444e+005
182	3.640	1.126e-004	2.456e-010	1.758e-007	7.402e+002	1.186e+004	5.073e+005
183	3.660	7.655e-005	-5.906e-008	6.802e-008	5.415e+002	-1.404e+005	1.807e+005
184	3.680	3.409e-005	-1.314e-007	-7.354e-008	-6.851e+002	-7.817e+005	-5.417e+005
185	3.700	3.204e-005	-1.846e-007	-1.888e-007	-2.118e+003	-1.366e+006	-1.561e+006
186	3.720	5.512e-005	-2.303e-007	-2.790e-007	-2.541e+003	-1.642e+006	-2.173e+006
187	3.740	8.905e-005	-2.800e-007	-3.641e-007	-2.608e+003	-1.875e+006	-2.631e+006

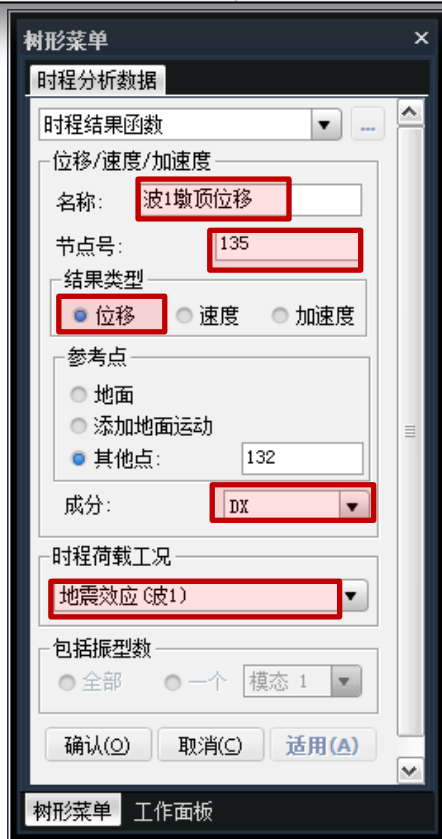
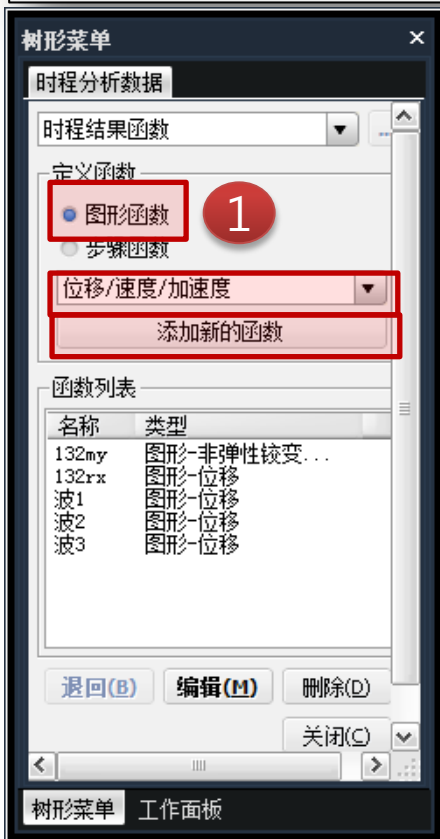
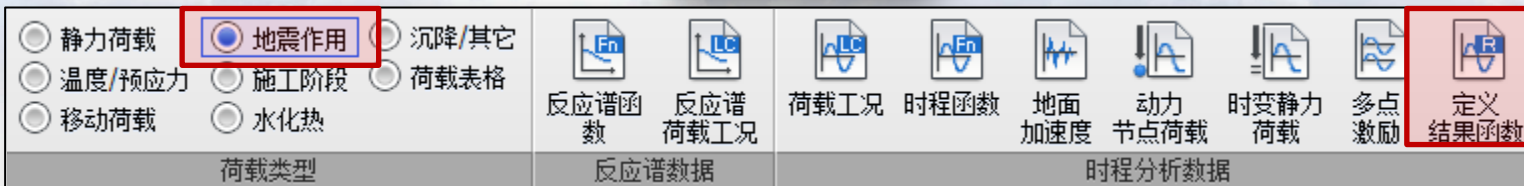
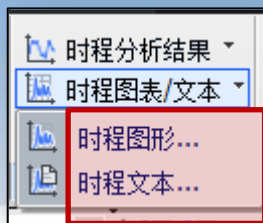
关闭

注意:

1.通过选择时程表格相应时间点, 可以查看截面纤维的屈服状态和变形(内力)情况。

## 7.3 查看时程分析图形/文本

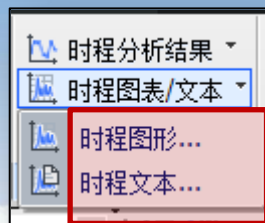
### (1) 定义结果函数



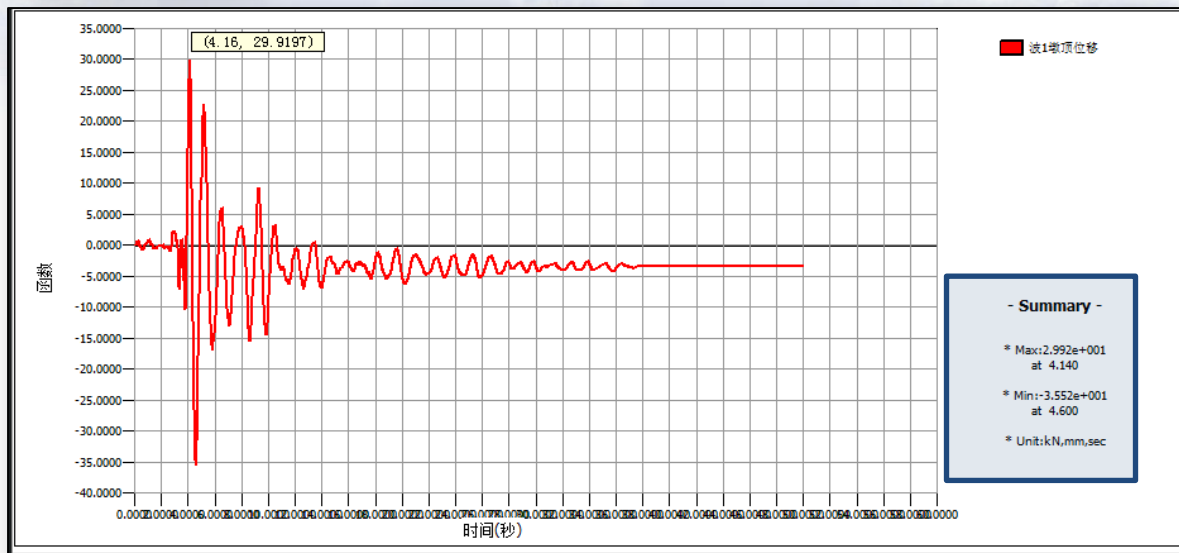
注意：

1. 定义结果函数的目的是为了下一步查看时间历程下相应的结果。

## (2) 查看时程图形结果



2



3

4

注意：

1. 函数列表中函数为上页中定义的结果函数。
2. 横轴可以选择时间或者结果函数。
3. 输出图形支持鼠标点选功能，同时输出最大值及相应的时间点。

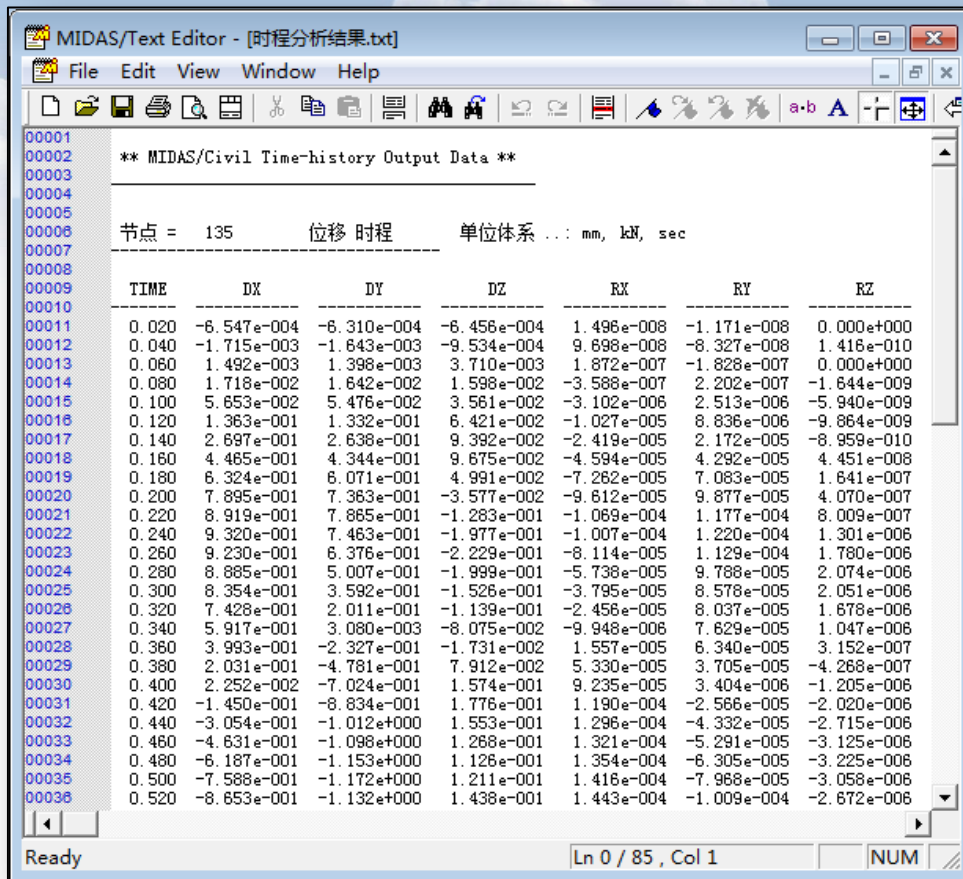
## (3) 查看时程文本结果



1

2

3



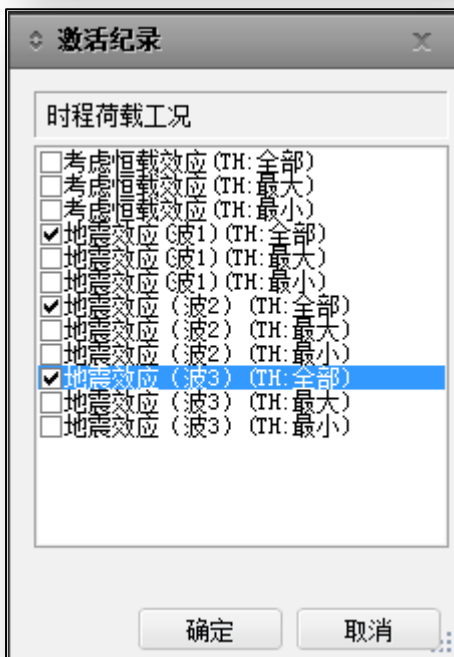
注意：

1.函数列表中函数为上页中定义的结果函数。

## 7.4 查看结果表格中的作用时间



	单元	铰位置	荷载	第一屈服						第二屈服					
				Dx	Dy	Dz	Rx	Ry	Rz	Dx	Dy	Dz	Rx	Ry	Rz
	96	1-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.18	0.1	0.060	-	-	-	2.260	1.8400
	96	2-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.12	0.1	0.060	-	-	-	0.140	0.1200
	96	3-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.08	0.1	0.060	-	-	-	0.120	0.1200
	97	1-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.08	0.1	0.040	-	-	-	0.140	0.1200
	97	2-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.08	0.1	0.040	-	-	-	0.120	0.1200
	97	3-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.08	0.1	0.040	-	-	-	0.120	0.1000
	98	1-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.08	0.0	0.040	-	-	-	0.120	0.1000
	98	2-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.08	0.0	0.040	-	-	-	0.120	0.1000
	98	3-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.06	0.0	0.040	-	-	-	0.080	0.1000
	99	1-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.06	0.0	0.040	-	-	-	0.080	0.1000
	99	2-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.06	0.0	0.040	-	-	-	0.080	0.1000
	99	3-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.06	0.0	0.040	-	-	-	0.080	0.1000
	100	1-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.06	0.0	0.040	-	-	-	0.080	0.1000
	100	2-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.06	0.0	0.040	-	-	-	0.080	0.1000
	100	3-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.06	0.0	0.040	-	-	-	0.080	0.1000
	181	1-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.08	0.0	0.060	-	-	-	0.140	0.1000
	181	2-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.08	0.0	0.060	-	-	-	0.140	0.1200
	181	3-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.08	0.0	0.060	-	-	-	0.120	0.1200
	182	1-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.08	0.0	0.060	-	-	-	0.140	0.1200
	182	2-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.08	0.0	0.060	-	-	-	0.120	0.1200
	182	3-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.08	0.1	0.060	-	-	-	0.120	0.1400
	183	1-Pos	地震效应(波1)全部	0.0400	-	-	-	0.08	0.1	0.060	-	-	-	0.120	0.1400



注意:

- 1.本操作可以显示各单元塑性铰出现第一或第二屈服的时间点。
- 2.注意根据塑性铰的类型选择集中或者分布结果。

## 7.4 按静力方法查看内力或位移结果

树形菜单

反力 位移 内力 应力

变形形状

荷载工况/荷载组合  
THmax: 地震效应(破1)

步骤:

位移  速度

加速度  绝对加速度

位移  
DX  DY  DZ   
DXY  DYZ  DXZ   
DXYZ

显示类型

变形  变形前  
 数值  图例  
 动画  镜像  
 当前步骤位移  
 阶段/步骤实际总位移  
 铰状态

适用 关闭

PostCS

- Summary -

\* Max:3.552e+001 at 4.140

\* Min:-4.161e+001 at 4.580

\* Unit:kN,mm,sec

树形菜单 工作面板

模型窗口 结果-[非弹性铰(时间)]

注意:

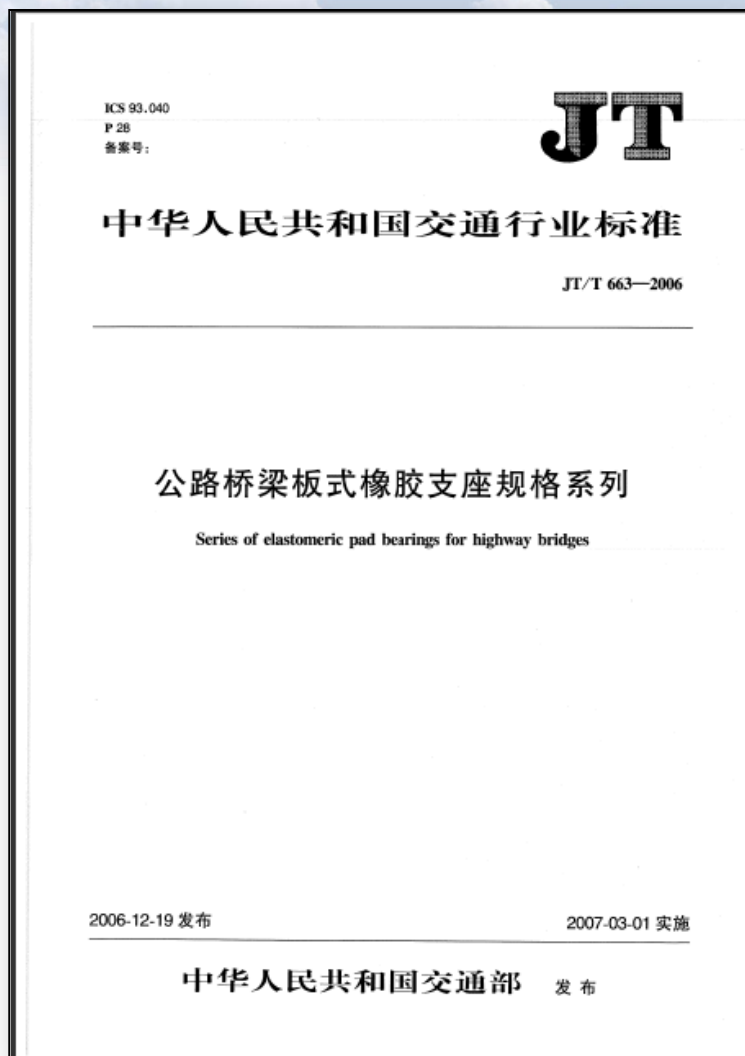
- 1.此处显示位移或内力为整个地震波时间历程下的极值。
- 2.比较发现与图表结果一致。

## 支座分类

普通支座	减隔震支座
板式橡胶支座	铅芯橡胶支座
盆式支座	高阻尼隔震橡胶支座
盆式抗震支座	摩擦摆隔震支座

## 1 普通支座

### 1.1 普通板式橡胶支座



**JT/T 663—2006**



(1) 竖向压缩刚度 ( $SDX=EA/L$ )

## E值求法：

3 橡胶支座抗压弹性模量和支座形状系数应按下列公式计算：

$$E_e = 5.4 G_e S^2 \quad (8.4.1-1)$$

矩形支座

$$S = \frac{l_{0a} l_{0b}}{2t_{es}(l_{0a} + l_{0b})} \quad (8.4.1-2)$$

圆形支座

$$S = \frac{d_0}{4t_{es}} \quad (8.4.1-3)$$

4 橡胶弹性体体积模量  $E_b = 2000\text{MPa}$

板式橡胶支座竖向平均压缩变形应符合下列规定：

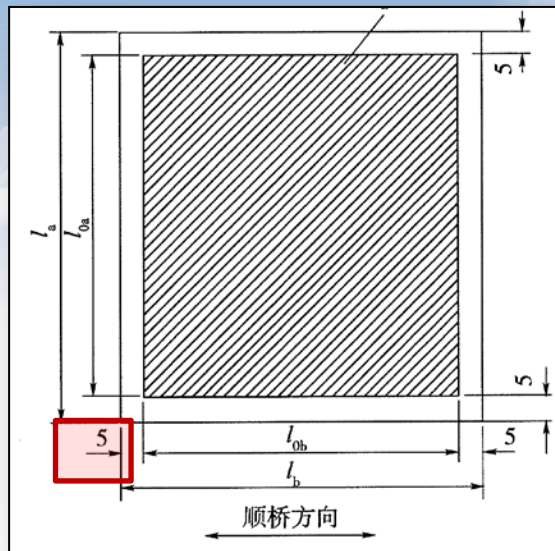
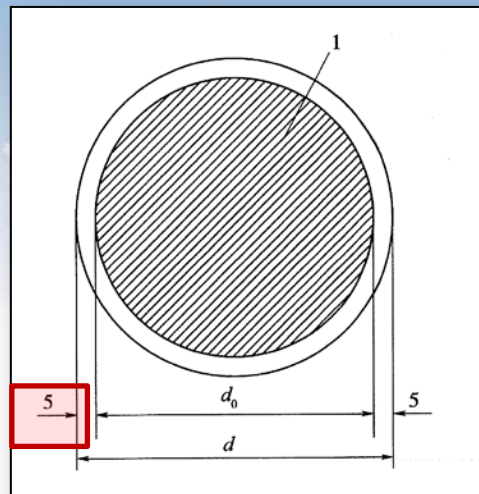
$$\delta_{c,m} = \frac{R_{ck} t_e}{A_e E_e} + \frac{R_{ck} t_e}{A_e E_b}$$

《04混规》8.4.2-8

由上式不难推倒整体刚度为：

$$E = \frac{E_e E_b}{E_e + E_b}$$

注意：支座形状系数S可以从规格表中直接查得。



**A值求法：** 从上图可以发现A值仅许考虑规格型号-10mm计算面积。

圆形支座 (d250/52) :  $A = A_e = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times (250 - 10)^2}{4} = 45238.93421 \text{mm}^2$

矩形支座 ( $L_a \times L_b - 200 \times 400 / 52$ ) :  $A = A_e = (L_a - 10)(L_b - 10) = (200 - 10) \times (400 - 10) = 74100 \text{mm}^2$

**L值求法:**此处为橡胶层总厚度 $t_e$

序号	$l_a \times l_b$ (或 $d$ ) (mm)	$R_{ck}$ (kN)	$S$	$t$ (mm)	$\Delta l_3$ (mm)		$\Delta l_4$ (mm)		$t_e$ (mm)	$\tan\theta$ ( $\theta$ 的单位为 rad)			$R_{Gk}$ (kN)			$t_1$ (mm)	$t_0$ (mm)	$t_f$ (mm)
					顺桥向	横桥向	顺桥向	横桥向		温热地区	寒冷地区	严寒地区	温热地区	寒冷地区	严寒地区			
13	200×400	741	7.98	32	±30	±20	±30	±3	21	0.005 5	0.005 0	—	280	336	420	8	3	2
				43					29	0.008 2	0.007 0	0.005 9						
				54					37	0.010 9	0.009 3	0.007 8						
14	d250	452	7.50	43	±60	±30	±60	±3	29	0.007 3	0.006 2	0.005 2	172	206	258	8	3	2
				54					37	0.009 7	0.008 3	0.006 9						
				65					45	0.012 1	0.010 4	0.008 6						
				76					53	0.014 6	0.012 4	0.010 3						

**竖向刚度SDX**

类型	E (MPa)	A (mm <sup>2</sup> )	L (mm)	SDx=EA/L (N/mm)
圆形, d250/52	263.700	45238.934	37.000	322419.704
矩形, La×Lb-200×400/ 52	293.732	74100.000	37.000	588258.114

## (2) 剪切刚度 ( $SD_y=SD_z=GA/L$ )

1 板式橡胶支座剪切刚度  $k$  (kN/m) :

$$k = \frac{G_d A_r}{\sum t} \quad (6.3.7-1)$$

图 6.3.7 活动盆式

式中： $G_d$ ——板式橡胶支座的动剪切模量(kN/m<sup>2</sup>)，一般取 1 200kN/m<sup>2</sup>；

$A_r$ ——橡胶支座的剪切面积(m<sup>2</sup>)；

$\sum t$ ——橡胶层的总厚度(m)。

**Ar**的计算

$$A_r = k A_e$$

$A_e$ 计算见前页

剪切系数:圆形 $k=0.9$ ,矩形 $k=5/6$

类型	G (MPa)	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	$t_e$ (mm)	$SD_y=SD_z=GA/L$ (N/mm)
圆形(d250/52)	1.2	40715.041	37	1320.5
矩形(200×400/52)	1.2	61750	37	2002.7

## 1.2.活动盆式（滑板）支座

6.2.6 活动支座的摩擦作用效应可采用双线性理想弹塑性弹簧单元模拟，其恢复力模型见图 6.2.6，并应符合下列要求：

- 1 活动支座临界滑动摩擦力  $F_{\max}$  (kN)：

$$F_{\max} = \mu_d W \quad (6.2.6-1)$$

- 2 初始刚度：

$$k = \frac{F_{\max}}{x_y} \quad (6.2.6-2)$$

式中： $\mu_d$ ——滑动摩擦系数，一般取 0.02；

$W$ ——支座所承担的上部结构重力 (kN)；

$x_y$ ——活动盆式支座屈服位移 (m)，取支座临界滑动时的位移，一般取 0.003m。

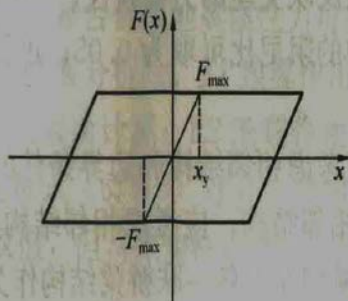


图 6.2.6 活动支座恢复力模型

(单位：k N m)

W	xy	$\mu_d$	Fmax	k
7289	0.003	0.020	146	48591

## 查看弹性连接反力的方法：



	号	阶段	步骤	荷载	节点	轴向 (kN)	剪力-y (kN)	剪力-z (kN)	扭矩 (kN*m)	弯矩-y (kN*m)	弯矩-z (kN*m)
	1	一次成桥	002(最后)	合计	467	-7231.61	0.00	-38.69	0.00	0.00	0.00
					335	-7231.61	0.00	-38.69	0.00	0.00	0.00
	2	一次成桥	002(最后)	合计	468	-7231.61	0.00	-38.69	0.00	0.00	0.00
					323	-7231.61	0.00	-38.69	0.00	0.00	0.00
	3	一次成桥	002(最后)	合计	469	-7288.68	0.00	38.69	0.00	0.00	0.00
					127	-7288.68	0.00	38.69	0.00	0.00	0.00
▶	4	一次成桥	002(最后)	合计	470	-7288.67	0.00	38.69	0.00	0.00	0.00
					135	-7288.67	0.00	38.69	0.00	0.00	0.00

- 反力...
- 并发反力(Max/Min) ...
- 位移...
- 桁架单元 ▶
- 壳单元 ▶
- 梁单元 ▶
- 板单元 ▶
- 平面应力单元 ▶
- 平面应变单元 ▶
- 轴对称单元 ▶
- 实体单元 ▶
- 弹性连接...**

## 通过边界条件 > 一般连接 > 一般连接特性

**添加/编辑一般连接特性值**

名称:

作用类型:  单元  内力

特性值类型: 滞后系统 非弹性较特性值...

说明:

自重:  kN  使用质量  kN/g

线形特性值			非线性特性值		
DOF	有效刚度	有效阻尼	DOF		
<input checked="" type="checkbox"/> Dx	<input type="text" value="10000000"/> kN/m	<input type="text" value="0"/> kN*sec/m	<input type="checkbox"/> Dx	<span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">特性值...</span>	
<input checked="" type="checkbox"/> Dy	<input type="text" value="4891"/> kN/m	<input type="text" value="0"/> kN*sec/m	<input checked="" type="checkbox"/> Dy	<span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">特性值...</span>	
<input checked="" type="checkbox"/> Dz	<input type="text" value="4891"/> kN/m	<input type="text" value="0"/> kN*sec/m	<input checked="" type="checkbox"/> Dz	<span style="border: 2px solid red; padding: 2px;">特性值...</span>	
<input type="checkbox"/> Rx	<input type="text" value="0"/> kN*m/[rad]	<input type="text" value="0"/> kN*m*sec/[rad]	<input type="checkbox"/> Rx	<span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">特性值...</span>	
<input type="checkbox"/> Ry	<input type="text" value="0"/> kN*m/[rad]	<input type="text" value="0"/> kN*m*sec/[rad]	<input type="checkbox"/> Ry	<span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">特性值...</span>	
<input type="checkbox"/> Rz	<input type="text" value="0"/> kN*m/[rad]	<input type="text" value="0"/> kN*m*sec/[rad]	<input type="checkbox"/> Rz	<span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">特性值...</span>	

剪切弹性支承位置

从I-端的距离比: Dy:  Dz:

注意：

- 1.静力或者反应谱计算程序采用线性特性值。
- 2.动力时程分析，程序采用非线性特性值。

## 通过边界条件 > 一般连接 > 一般连接特性

◆ 滞后系统—非线性弹性支承特性值

非线性特性值

弹性刚度 (k)	48591	kN/m	
屈服强度 (F <sub>y</sub> )	146	kN	
屈服后刚度与弹性刚度之比 (r)	0.00001		
屈服指数 (s)	1000000		
滞后循环参数 (a)	0.5		
滞后循环参数 (b)	0.5		

a : alpha    b : beta    |a| + |b| = 1.0

---


$$f = r \cdot k \cdot d + (1 - r) F_y \cdot z$$

$$\dot{z} = \frac{k}{F_y} [1 - |z|^s \{ \alpha \cdot \text{sign}(\dot{d} \cdot z) + \beta \}] \dot{d}$$


---



---

确认
取消

(单位 : k N m)

W	xy	μd	Fmax	k
7289	0.003	0.020	146	48591

注意：

1. 弹性刚度为规范计算出的k值。
2. 屈服强度为规范算出的Fmax值。
3. r 值表示屈服后刚度与弹性刚度的比值，对于规范推荐的恢复力模型，取较小值。
4. S表示弹性进入塑性的状态，按规范推荐此处输入较大值。

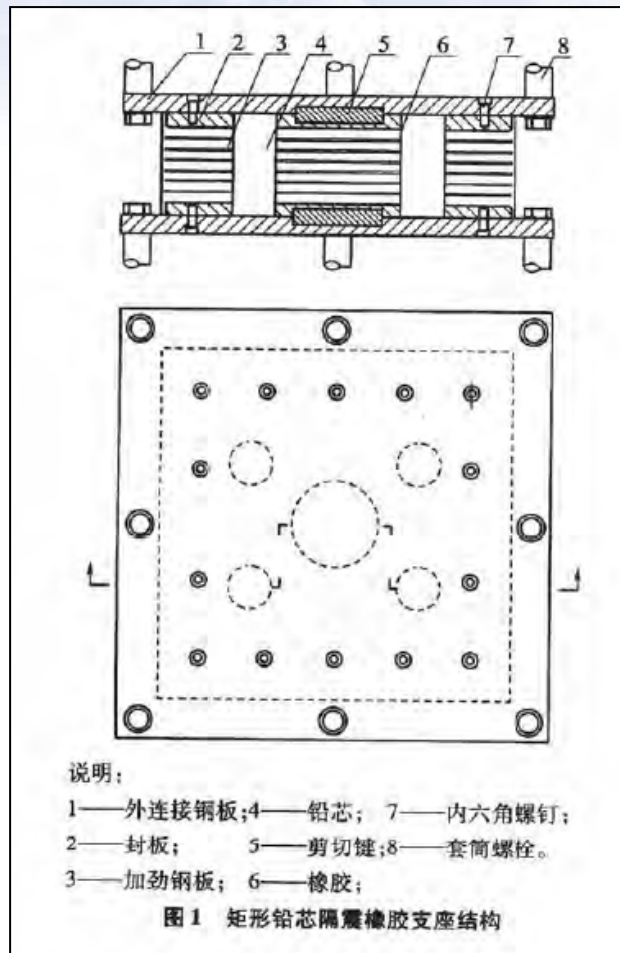


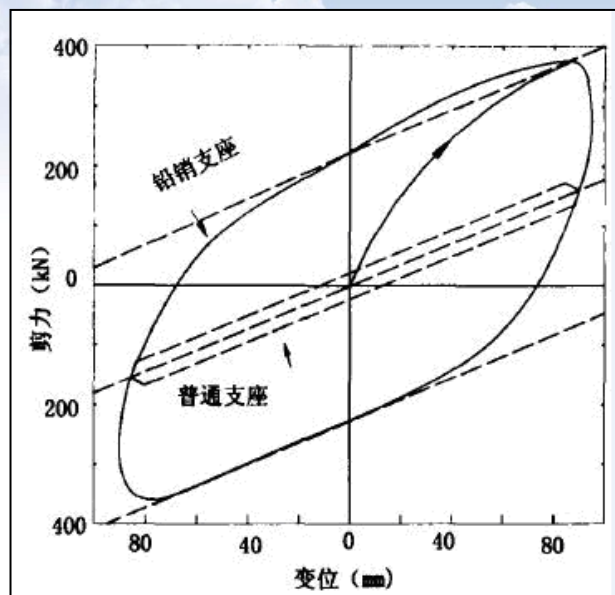
### 1.3 固定支座（抗震盆式支座）及单向滑动支座的处理方式

- (1)一般固定支座（单向或者双向），固定方向上对主梁的位移能够有效的约束，故考虑其刚度取较大刚度值，比如 $10e7$ 。
- (2)对于盆式支座竖向刚度相对较大，可取较大刚度，比如 $10e7$ 。
- (3)抗震盆式支座本身并不具备耗能效果，进起到限制地震作用下主梁位移的作用，因此处理方法同普通的固定支座，取三个方向的刚度为较大值。

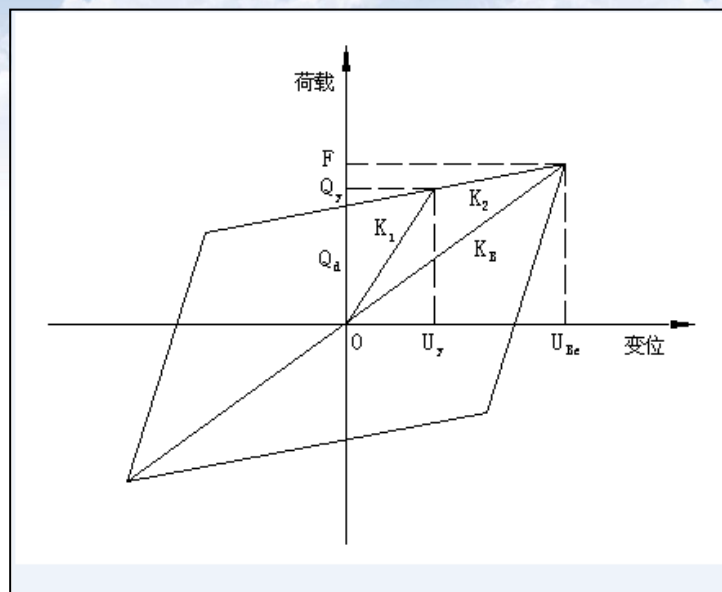
## 2. 减隔振支座

### 2.1 铅芯橡胶支座





实际滞回曲线



等价线性化模型

$K_1$ —弹性刚度  
 $K_2$ —屈服刚度  
 $K_E$ —等效刚度  
 $Q_y$ —屈服强度

表 A.2 Y4Q 圆形铅芯隔震橡胶支座规格系列参数

支座平面尺寸 $d$ (mm)	承载力 (kN)	位移量 (mm)	支座高度 $h$ (mm)	组装后高度 $H$ (mm)	外连接钢板 $A \times B$ (mm $\times$ mm)	螺栓间距 $n_a \times l_{a1} (=l_a)$ $n_b \times l_{b1} (=l_b)$ (mm)	螺栓规格	锚固长度 $L$ (mm)	铅芯屈服力 (kN)	剪切弹性模量 $G$ (MPa)	屈服前刚度 (kN/mm)	屈服后刚度 (kN/mm)	水平等效刚度 $K_{am}$ (kN/mm)	等效阻尼比 $h_{am}$ (%)
420	1 000	$\pm 50$	133	173	560 $\times$ 560	1 $\times$ 490 (=490)	M24	250	61	0.8	6.4	1.0	1.5	19.3
		$\pm 75$	169	209						0.8	4.6	0.7	1.1	19.3
		$\pm 50$	133	173						1	8.2	1.3	1.8	16.2
		$\pm 75$	169	209						1	6.2	1.0	1.3	16.2
		$\pm 50$	133	173						1.2	10.3	1.6	2.1	13.9
		$\pm 75$	169	209						1.2	7.5	1.2	1.5	13.9

K1—弹性刚度：屈服前刚度

KE—等效刚度：水平等效刚度

K2—屈服刚度：屈服后刚度

Qy—屈服强度：铅芯屈服力

添加/编辑一般连接特性值

名称: 铅芯橡胶支座

作用类型:  单元  内力

特性值类型: 铅芯橡胶支座隔震装置 非弹性铰特性值...

说明:

自重  使用质量

总重量: 0 kN 总质量: 0 kN/g

线性特性值

DOF	有效刚度	有效阻尼
<input checked="" type="checkbox"/> Dx	10e8 kN/mm	0 kN*sec/mm
<input checked="" type="checkbox"/> Dy	1.8 kN/mm	0 kN*sec/mm
<input checked="" type="checkbox"/> Dz	1.8 kN/mm	0 kN*sec/mm
<input type="checkbox"/> Rx	0 kN*mm/[rad]	0 kN*mm*sec/[rad]
<input type="checkbox"/> Ry	0 kN*mm/[rad]	0 kN*mm*sec/[rad]
<input type="checkbox"/> Rz	0 kN*mm/[rad]	0 kN*mm*sec/[rad]

非线性特性值

DOF  Dx 特性值...

Dy 特性值...>>

Dz 特性值...

Rx 特性值...

Ry 特性值...

Rz 特性值...

剪切弹性支承位置

从I-端的距离比: Dy: 0.5 Dz: 0.5

确认 取消 适用

铅芯橡胶支座隔震装置——剪切弹性支承

非线性特性值 ↓ 0.3K/S ↑ 0.04K/S

弹性刚度 (k) : 8.2 kN/mm

屈服强度 (Fy) : 1.3 kN

屈服后刚度与弹性刚度之比 (r) : 0.1585

滞后循环参数 (a) : 0.5

滞后循环参数 (b) : 0.5

a : alpha b : beta |a| + |b| = 1.0

注意:

- 1.自重和使用质量仅体现支座本身的重力效应，及计算动力问题的质量。
- 2.非线性直接积分法，有效阻尼无需输入，程序仅调用非线性特性值中输入的信息。

程序输入参数	规范规格表中对应值
有效刚度(KE)	水平等效刚度
弹性刚度 (K1)	屈服前刚度
屈服强度(Qy)	铅心屈服力
屈服刚度/弹性刚度 (k2/k1)	屈服后刚度/屈服前刚度

铅芯屈服力 (kN)	剪切弹性模量 G (MPa)	屈服前刚度 (kN/mm)	屈服后刚度 (kN/mm)	水平等效刚度 $K_{sm}$ (kN/mm)	等效阻尼比 $h_{sm}$ (%)
	0.8	6.4	1.0	1.5	19.3
	0.8	4.6	0.7	1.1	19.3
61	1	8.2	1.3	1.8	16.2

## 2.2 高阻尼隔振橡胶支座

ICS 93.040; 83.140.99  
P28  
备案号



中华人民共和国交通运输行业标准

JT/T 842—2012

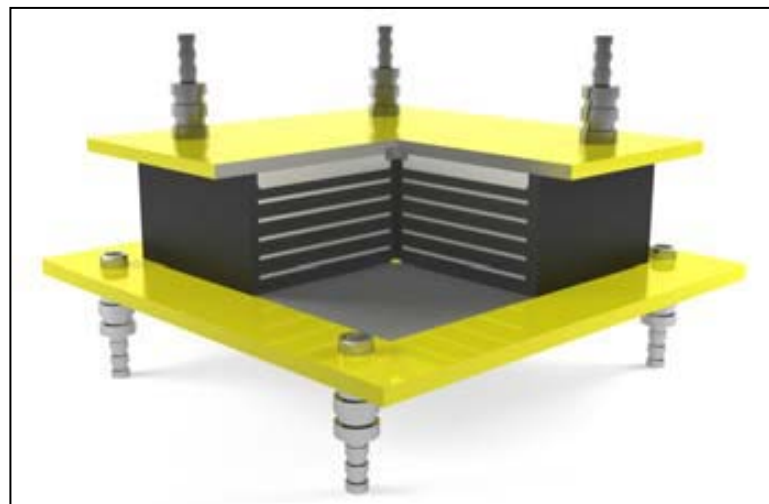
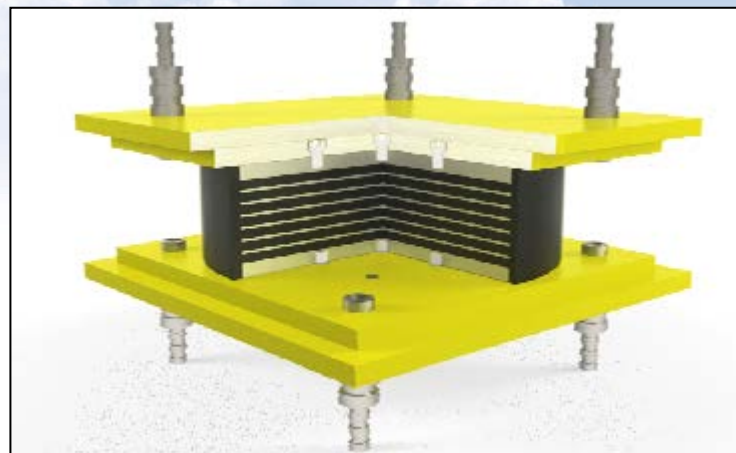
公路桥梁高阻尼隔震橡胶支座

High damping seismic isolation rubber bearings  
for highway bridges

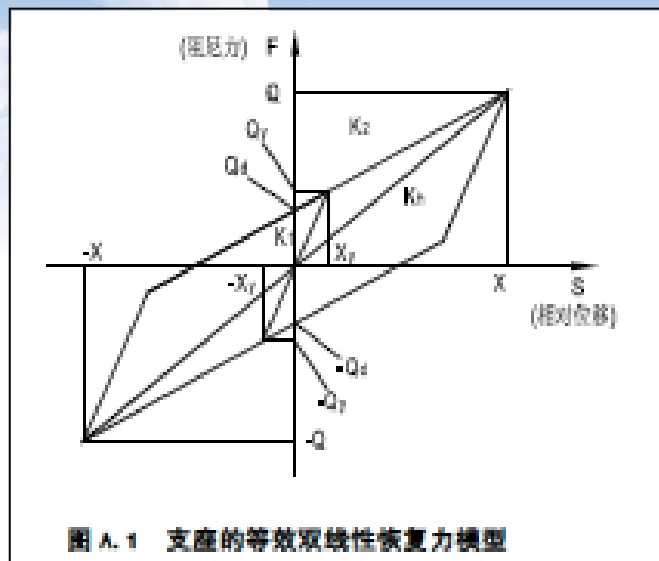
2012-09-26 发布

2012-02-01 实施

中华人民共和国交通运输部 发布



## 2.2 高阻尼隔振橡胶支座



水平屈服力	初始水平刚度	屈服后水平刚度	水平等效刚度	竖向压缩刚度	等效阻尼比
$Q_y$ kN	$K_1$ kN/mm	$K_2$ kN/mm	$K_h$ kN/mm	$K_v$ kN/mm	$\xi$ %
20	4.19	0.64	0.86	319	15
25	4.72	0.73	0.97	359	15
33	6.47	0.76	1.06	392	17

序号	规格尺寸	承载力	剪切模量	支座总高	设计位移	容许位移	屈服位移	单层橡胶厚度	加劲钢板厚度	衬层钢板厚度	预埋钢板厚度	支座钢板厚度	支座钢板尺寸	预埋钢板尺寸	设计容许转角	水平屈服力	初始水平刚度	屈服后水平刚度	水平等效刚度	竖向压缩刚度	等效阻尼比
	d mm	$P_b$ kN	G MPa	h mm	$X_d$ mm	$X_1$ mm	$X_2$ mm	$t_r$ mm	$t_s$ mm	t mm	$t_1$ mm	$t_2$ mm	A mm	B mm	$\theta$ rad	$Q_y$ kN	$K_1$ kN/mm	$K_2$ kN/mm	$K_h$ kN/mm	$K_v$ kN/mm	$\xi$ %
1	270	532	0.8	149	45	112	157	5	3	20	20	20	320	340	0.0103	20	4.19	0.64	0.86	319	15
			1.0	157	50	125	175						340	360	0.0091	25	4.72	0.73	0.97	359	15
			1.2	165	55	137	192						340	360	0.0084	33	6.47	0.76	1.06	392	17

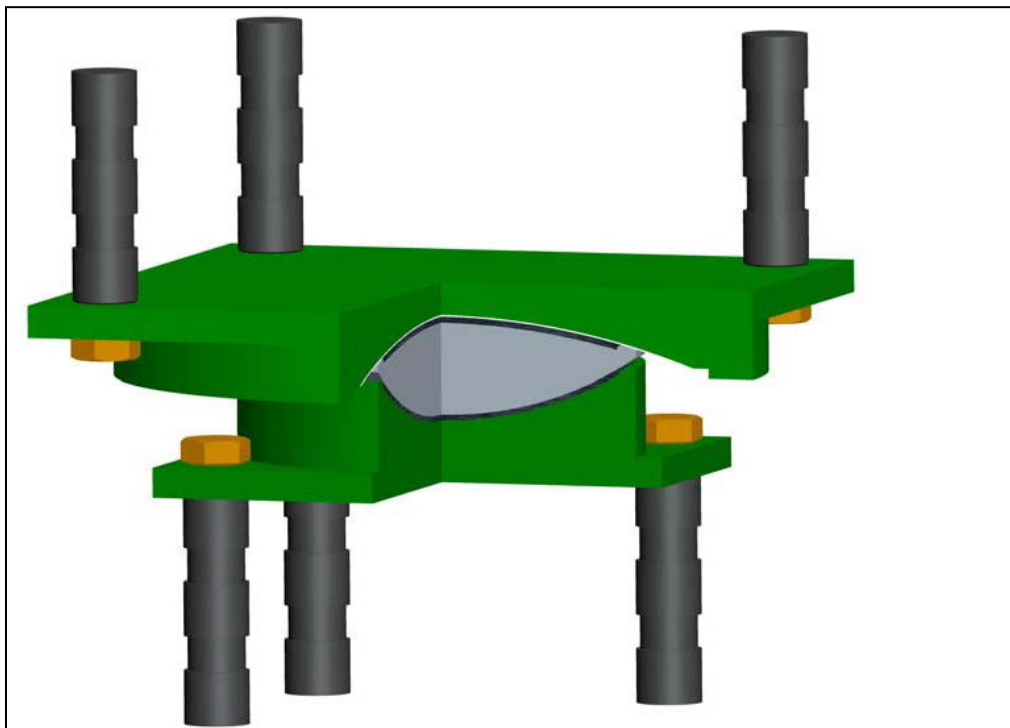
注意：

- 1.高阻尼相对铅芯橡胶支座，仅输入参数发生变化。对于程序采用同样方法处理。
- 2.高阻尼中给出了竖向压缩刚度，便于我们输入竖向刚度。（10e6左右的单位）

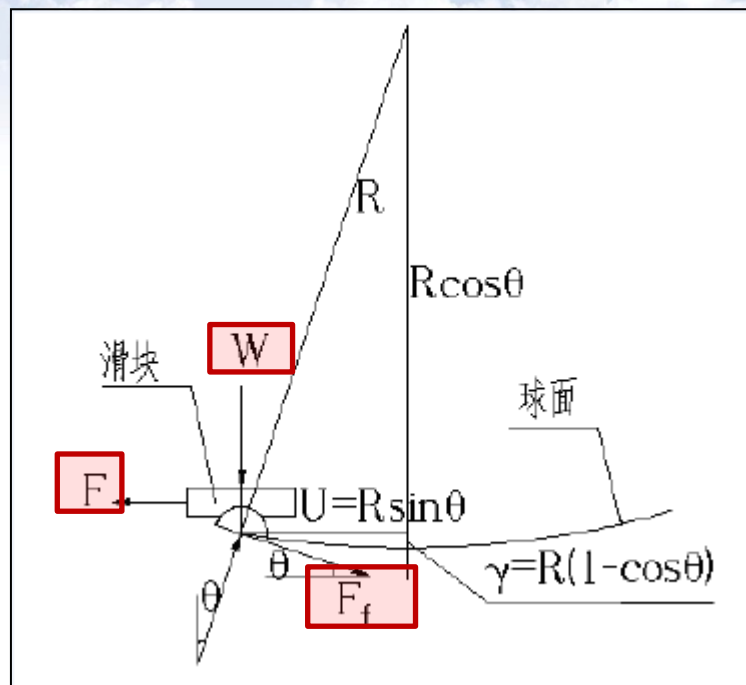
### 3 摩擦摆减隔振支座

10.2.2 目前常用的整体型减隔震装置有：

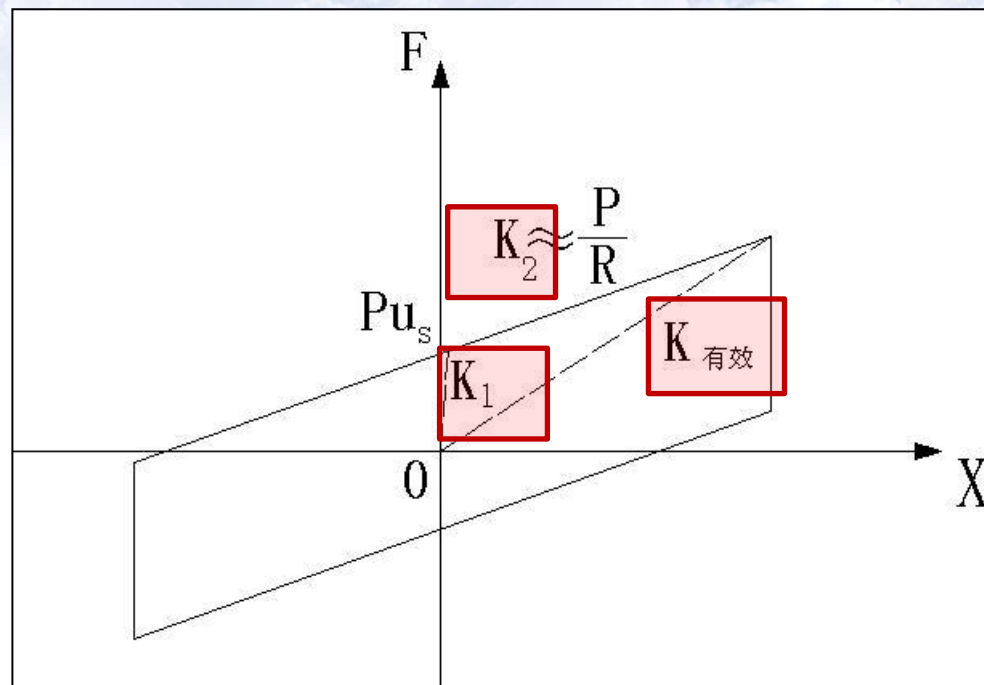
- 1 铅芯橡胶支座。
- 2 高阻尼橡胶支座。
- 3 摩擦摆式减隔震支座。







力学模型

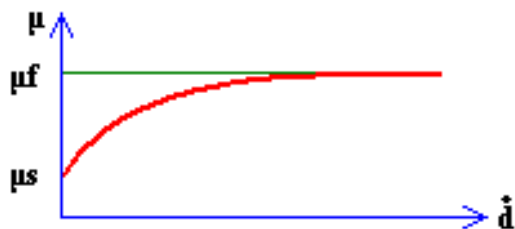
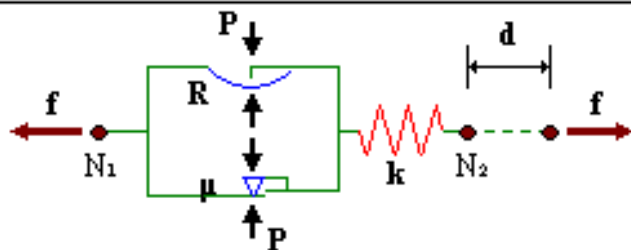


恢复力模型

$$f = -\frac{P}{R}d - P \cdot \mu \cdot z$$

$$\dot{z} = \frac{k}{|P| \cdot \mu} \left[ 1 - |z|^2 \{ \alpha \cdot \text{sign}(\dot{d} \cdot z) + \beta \} \right] \dot{d}$$

$$\mu = \mu_f - (\mu_f - \mu_s) \exp^{-rv}; \quad v = |\dot{d}|$$



确认

取消

## 摩擦摆隔震装置——剪切弹性支承

非线性特性值

滑动前刚度 (k)	: 380000	kN/m
位移速度慢时的摩擦系数 (mu_s)	: 0.04	
位移速度快时的摩擦系数 (mu_f)	: 0.03	
摩擦系数变化参数 (r)	: 22	sec/m
摩擦面曲率半径 (R)	: 2.24	m
滞后循环参数 (a)	: 0.5	
滞后循环参数 (b)	: 0.5	

a : alpha    b : beta    |a| + |b| = 1.0

**注意：**

- 1.右图并不是滞回曲线，表示摩擦系数与加载速度的关系。
  - 2.z值表示恢复力模型内部滞回变量。
- 凡应力摩擦力与变形之间的关系：  
 $F = -P\mu Z$

	设计参数	程序处理方式
摩擦系数 ( $\mu$ )	慢（快）时摩擦系数 ( $\mu_s$ )	用户输入
	加载速度 $v= \dot{d} $	时程分析时自动计算
	摩擦系数变化参数 $r$	用户输入
滞回变量 ( $Z$ )	滑动前初始刚度 $k$	用户输入
	摩擦摆轴力 $P$	时程分析自动计算
	摩擦系数 $\mu$	根据公式3自动计算
	加载速度 $v= \dot{d} $	时程分析自动计算
	滞回循环参数 $\alpha\beta$	用户输入（一般采用默认值0.5）
恢复力 ( $f$ )	滑动面半径 $R$	用户输入
	剪切位移 $d$ 及 摩擦摆轴力 $P$	时程分析时自动计算
	$\mu$ 、 $Z$	根据公式1 2自动计算

$$f = -\frac{P}{R}d - P \cdot \mu \cdot z$$

$$\dot{z} = \frac{k}{|P| \cdot \mu} \left[ 1 - |z|^2 \{ \alpha \cdot \text{sign}(\dot{d} \cdot z) + \beta \} \right] \dot{d}$$

$$\mu = \mu_f - (\mu_f - \mu_s) \exp^{-rv}; \quad v = |\dot{d}|$$

## 摩擦摆隔震装置——剪切弹性支承

### 非线性特性值

滑动前刚度 (k)	:	<input type="text" value="380000"/>	kN/m
位移速度慢时的摩擦系数 (us)	:	<input type="text" value="0.04"/>	
位移速度快时的摩擦系数 (uf)	:	<input type="text" value="0.03"/>	
摩擦系数变化参数 (r)	:	<input type="text" value="22"/>	sec/m
摩擦面曲率半径 (R)	:	<input type="text" value="2.24"/>	m
滞后循环参数 (a)	:	<input type="text" value="0.5"/>	
滞后循环参数 (b)	:	<input type="text" value="0.5"/>	

a : alpha    b : beta    |a| + |b| = 1.0

$$f = -\frac{P}{R}d - P \cdot \mu \cdot z$$

$$\dot{z} = \frac{k}{|P| \cdot \mu} \left[ 1 - |z|^2 \{ \alpha \cdot \text{sign}(\dot{d} \cdot z) + \beta \} \right] \dot{d}$$

$$\mu = \mu_f - (\mu_f - \mu_s) \exp^{-rv}; \quad v = |\dot{d}|$$

设计人员选取参数面临的问题：

1. 厂家规格表中提供的参数相对较少。
2. 理论公式中刚度k值的取法。

型号	周期 (s)	屈后刚度 (N/mm)	高度
CSR-FPB - I -55 -E300	3	24444	790
	3.5	18092	655
	4	13854	580
	4.5	10934	515

厂家规格表

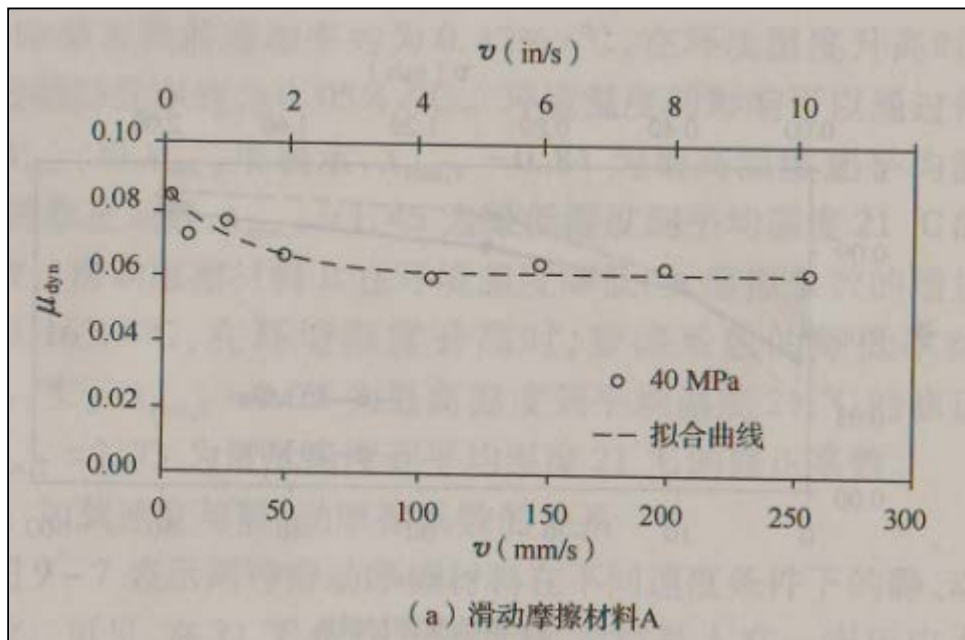
## 各参数取值：

### (1) 滑动面半径

由理论公式：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (T=3S \text{ 可求 } R=2.24)$$

### (2) 快时慢时摩擦系数及r值：



型号	周期 (s)	屈后刚度 (N/mm)	高度
CSR-FPB - I -55 -E300	3	24444	790
	3.5	18092	655
	4	13854	580
	4.5	10934	515

厂家规格表

$$\mu = \mu_f - (\mu_f - \mu_s) \exp^{-rv}$$

一般厂家会提供各规格支座实验数值  
(右图为《桥梁减震、隔振支座和装置》p180页插图)

通过实验数据可确定快时及慢时摩擦系数，以及速度变化参数r：  
μ一般在0.01-0.06之间，根据产品实验曲线比较容易确定。本例取 0.04/0.03  
r一般取20sec/m这个数量级，本例取22

$$\dot{z} = \frac{k}{|P| \cdot \mu} \left[ 1 - |z|^2 \{ \alpha \cdot \text{sign}(\dot{d} \cdot z) + \beta \} \right] \dot{d}$$

### (3) 滑动前刚度取值

摩擦摆式减震、隔震支座的初始刚度  $K_1$ ，根据美国的经验，可取 2.5 mm 位移时的等效刚度。

$$k = \frac{F}{d} = \frac{\mu W}{d} \quad (\text{本例 } \mu = 0.04 \quad W = 55000 \quad D = 0.0025 \quad k = 8.8e5)$$

注意：

**W**取计算轴力还是取支座的承载力结果会不同。取支座承载力便于操作，如支座承载力与计算反力相当，对计算结果影响不大。

摩擦摆隔震装置——剪切弹性支承

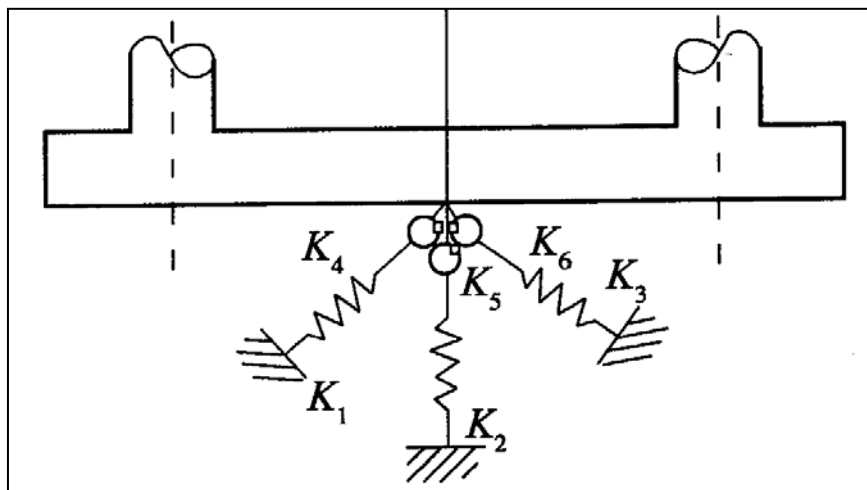
非线性特性值

滑动前刚度 (k)	:	580000	kN/m
位移速度慢时的摩擦系数 (us)	:	0.04	
位移速度快时的摩擦系数 (uf)	:	0.03	
摩擦系数变化参数 (r)	:	22	sec/m
摩擦面曲率半径 (R)	:	2.24	m
滞后循环参数 (a)	:	0.5	
滞后循环参数 (b)	:	0.5	

a : alpha    b : beta    |a| + |b| = 1.0

## 1. 承台底6个自由度的弹簧刚度模拟桩基础

**6.3.8** 桥梁的下部结构处理通常为桥墩支承在刚性承台上,承台下采用群桩布置。因此,地震荷载作用下桥墩边界应是弹性约束,而不是刚性固结。精确对桩基边界条件进行模拟要涉及复杂的桩土相互作用问题。但分析表明,对于桥梁结构本身的分析问题,只要对边界作适当的模拟就能得到较满意的结果。考虑桩基边界条件最常用的处理方法是采用承台底六个自由度的弹簧刚度模拟桩土相互作用(图6-4),这六个弹簧刚度是竖向刚度、顺桥向和横桥向的抗推刚度、绕竖轴的抗转动刚度和绕两个水平轴的抗转动刚度。它们的计算方法与静力计算相同,所不同的仅是土的抗力取值比静力的大,一般取  $m_{\text{动}} = (2 \sim 3)m_{\text{静}}$ 。



注意:

- 1.静力计算与动力计算采用的 $m$ 值应不同。
- 2.各刚度计算方法参加基础规范附录,但建议采用下部计算软件计算。

## 2. 等代土弹簧模拟桩基础

**6.3.8** 建立桥梁抗震分析模型应考虑桩土的共同作用, 桩土的共同作用可用等代土弹簧模拟, 等代土弹簧的刚度可采用表征土介质弹性值的  $m$  参数来计算。

附录 P	按 $m$ 法计算弹性桩水平位移及作用效应 .....	83
附录 Q	刚性桩位移及作用效应计算方法 .....	99
附录 R	群桩作为整体基础的计算 .....	103

## 时程分析

假定土介质是线弹性的连续介质, 等代土弹簧刚度由土介质的动力  $m$  值计算。“ $m$ -法”是我国公路桥梁设计中常用的桩基静力设计方法。在此采用的动力  $m$  值最好以实测数据为依据。由地基比例系数的定义可表示为

$$\sigma_{zx} = m \times z \times x_z$$

式中,  $\sigma_{zx}$  是土体对桩的横向抗力,  $z$  为土层的深度,  $x_z$  为桩在深度  $z$  处的横向位移 (即该处土的横向变位值)。

由此, 可求出土弹簧的刚度为:



由此，可求出土弹簧的刚度为：

$$K_s = \frac{P_s}{x_z} = \frac{A \times \sigma_{zx}}{x_z} = \frac{(a \times b_p) \times (m \times z \times x_z)}{x_z} = a \times b_p \times m \times z$$

式中：

$a$  为土层的厚度，

$b_p$  为该土层在垂直于计算模型所在平面的方向上的宽度，

$m$  为地基土的比例系数， $m$  值见表1。；

$z$  为各层土的中心到地面的距离；

注意：

1.  $m$  的取值应取静土的（2-3倍）

2. 计算宽度的取值应根据基础规范附录方法计算。

3. 刚度值与各层土中心到地面距离成比例。切勿忘记考虑此项。