



# 多体系统动力学仿真

---

UM 软件强基训练系列教程

(01)

四川同算科技有限公司

2022 年 5 月

《UM 软件强基训练系列教程》面向具有 UM 软件使用基础的用户，作为对《UM 软件入门系列教程》和《UM 培训教程》的补充和强化，教程中使用的部分例子选自 UM 软件自带的模型。

希望读者重视基础，勤加练习，多多思考，相信通过每一次练习都能有所收获。

本例模型路径：*C:\Users\Public\Documents\UM Software Lab\Universal Mechanism\9\SAMPLES\Education\Resonance*

## 目录

<b>1 UM INPUT 建模过程 .....</b>	<b>4</b>
1.1 建立几何模型 .....	4
1.2 定义刚体参数 .....	16
1.3 描述铰 .....	18
1.4 添加力元 .....	21
<b>2 UM SIMULATION 仿真过程 .....</b>	<b>23</b>
2.1 工况 1 .....	23
2.2 工况 2 .....	25
2.3 工况 3 .....	26
2.4 工况 4 .....	27
2.5 工况 5 .....	30

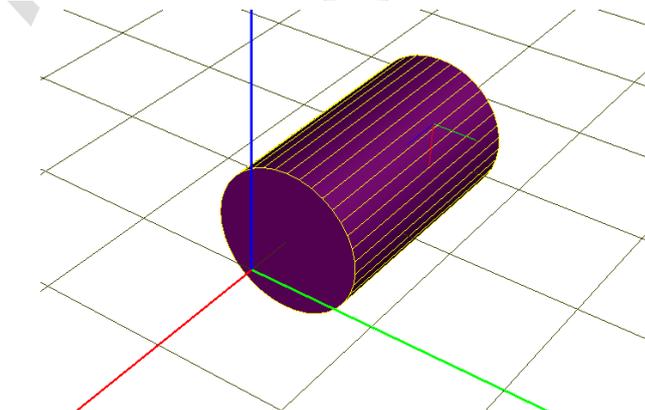
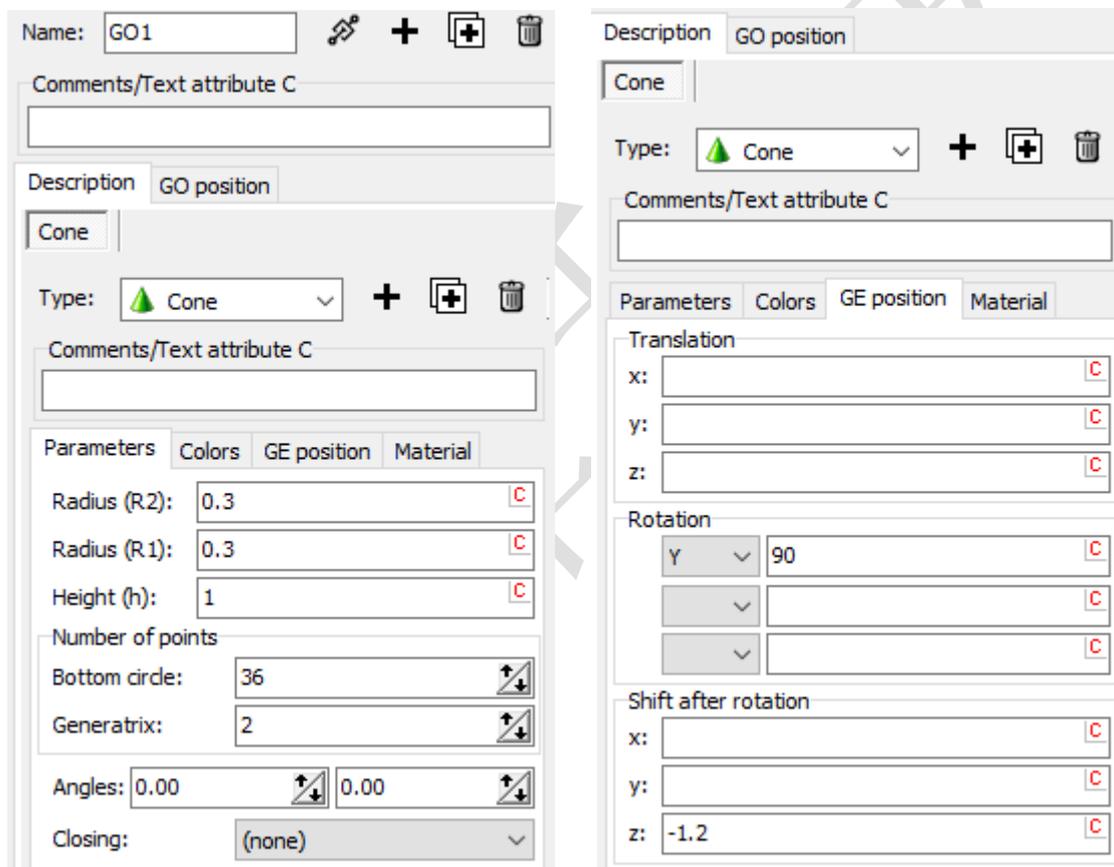
# 1 UM Input 建模过程

## 1.1 建立几何模型

**GO1:** 由一个 Cone 组成，颜色为紫色。

**Cone Parameters:**  $R_2=R_1=0.3(m)$ ,  $h=1(m)$ 。

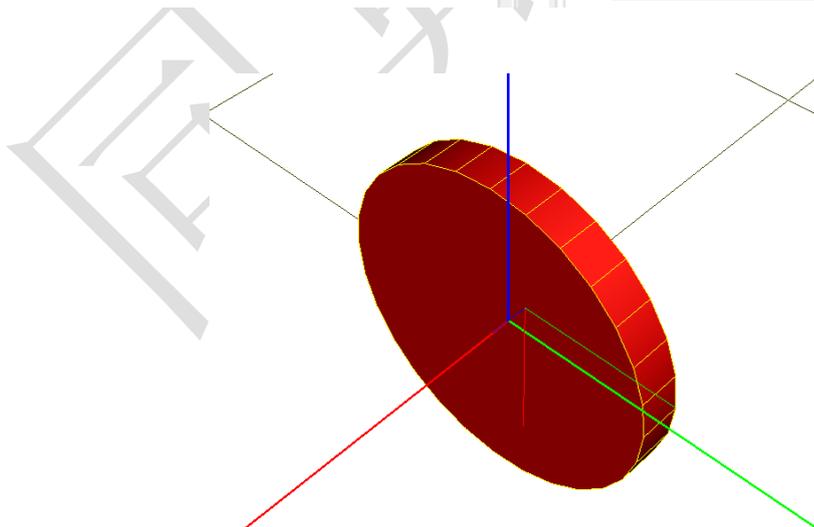
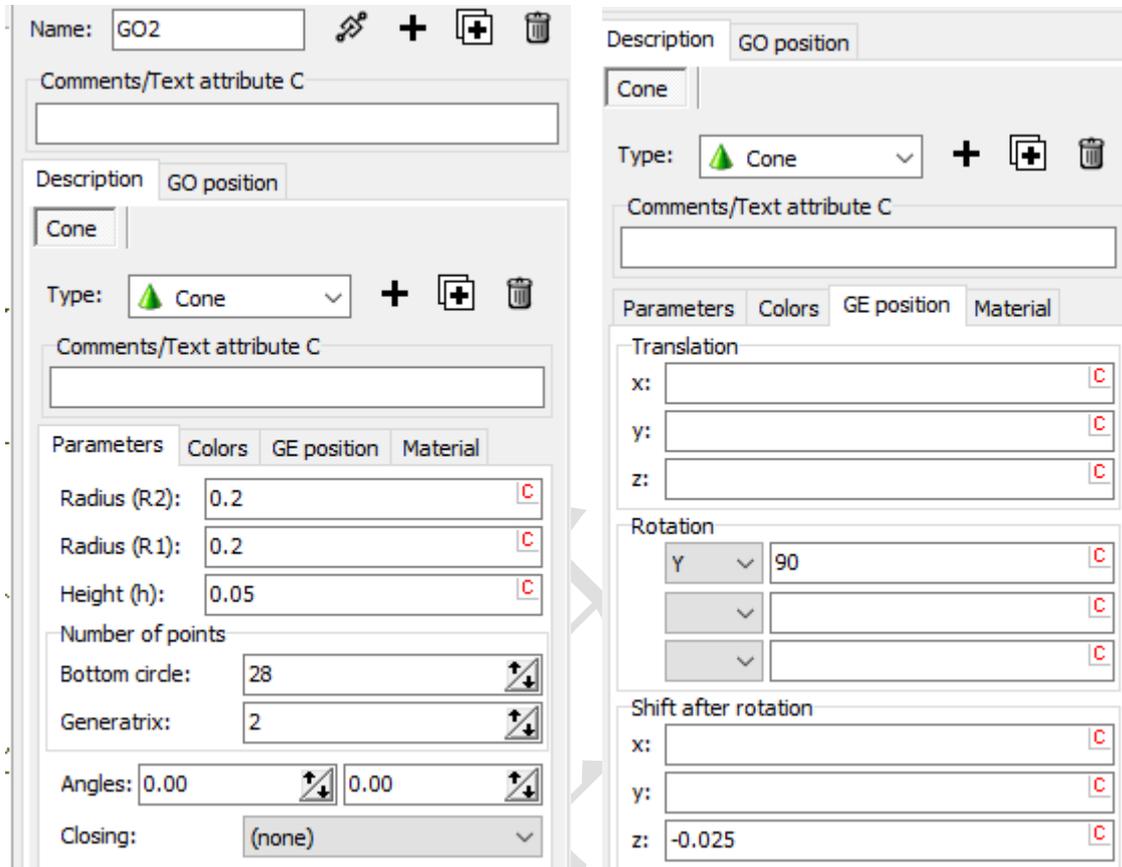
**GE Position:** 先绕 Y 轴旋转  $90^\circ$ ，再沿 Z 轴移动  $-1.2(m)$ 。



**GO2:** 由 3 个 Cone 组成，颜色分别为红色、红色和灰色。

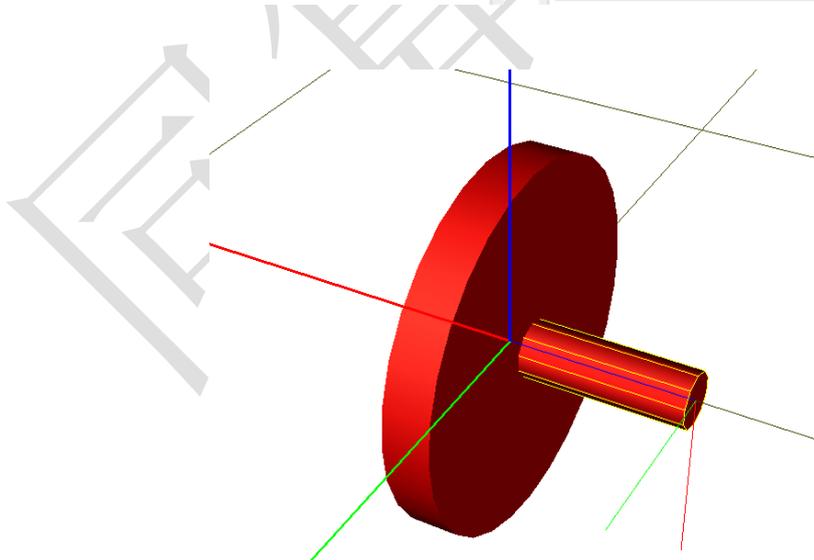
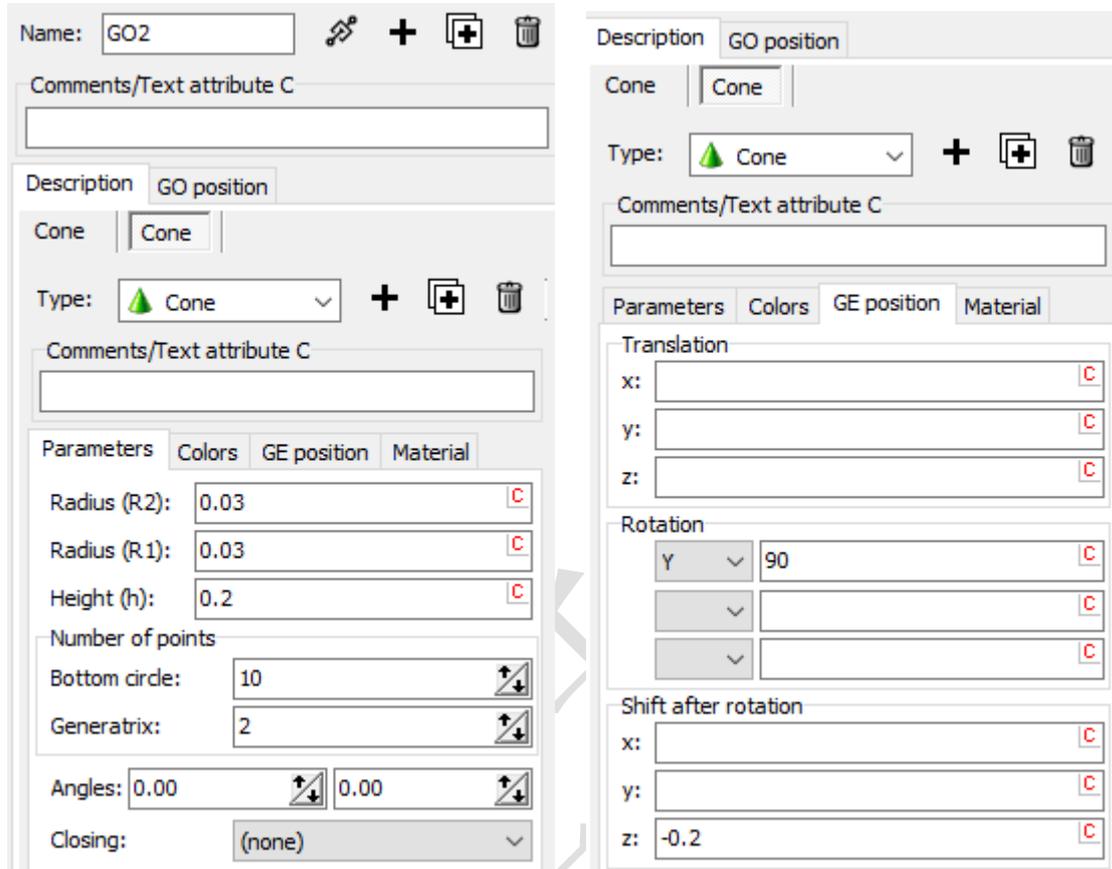
**Cone1 Parameters:**  $R_2=R_1=0.2(m)$ ,  $h=0.05(m)$ 。

**GE Position:** 先绕 Y 轴旋转  $90(^{\circ})$ ，再沿 Z 轴移动  $-0.025(m)$ 。



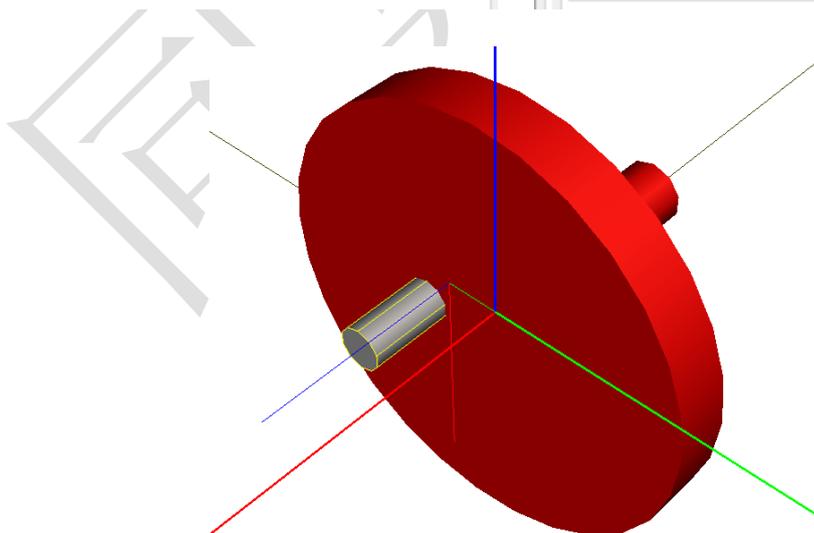
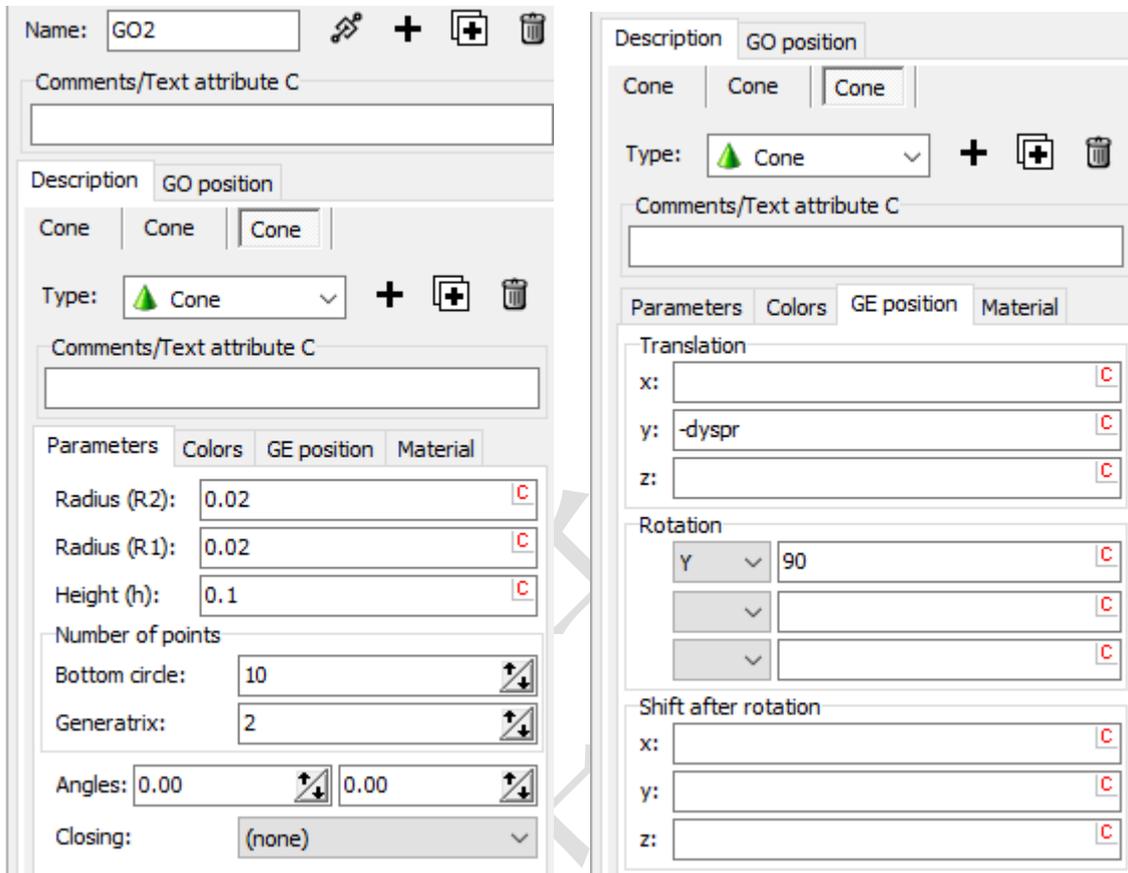
**Cone2 Parameters:**  $R_2=R_1=0.03(m)$ ,  $h=0.2(m)$ 。

**GE Position:** 先绕 Y 轴旋转  $90(^{\circ})$ ，再沿 Z 轴移动  $-0.2(m)$ 。



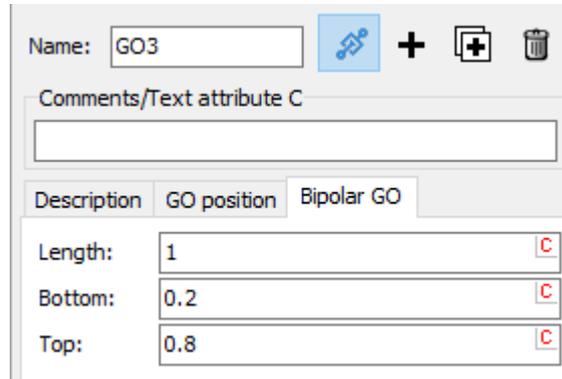
**Cone3 Parameters:**  $R_2=R_1=0.02(m)$ ,  $h=0.1(m)$ 。

**GE Position:** 先沿 Y 轴移动-dyspr, 给 dyspr 赋初值 0.05(m), 再绕 Y 轴旋转  $90^\circ$  )。



**GO3:** 由 1 个 Spring（灰色）、4 个 Cone（棕色）和 2 个 Ellipsoid（棕色）组成。

按下图标, 设置 Bipolar GO 参数: Length=1(m), Bottom=0.2(m), Top=0.8(m)。



Name: GO3

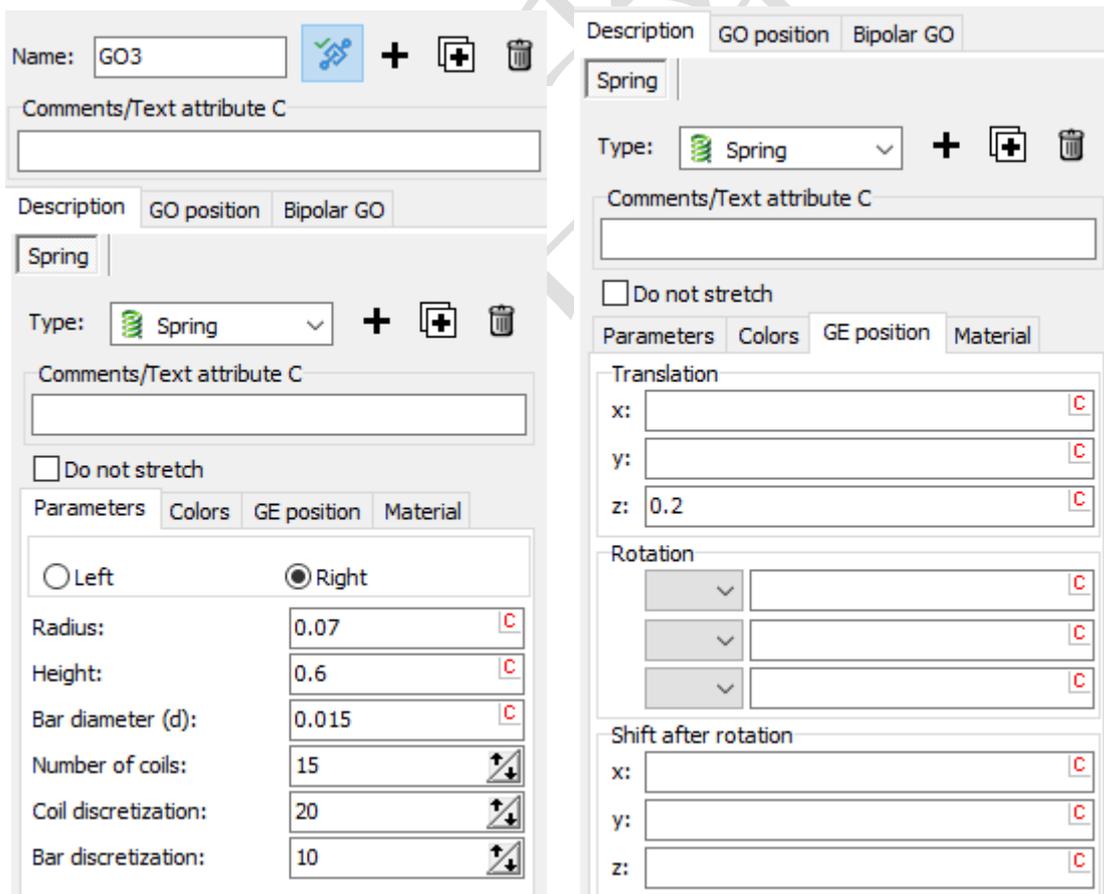
Comments/Text attribute C

Description GO position Bipolar GO

Length:	1	C
Bottom:	0.2	C
Top:	0.8	C

**Spring Parameters:** Radius=0.07(m), Height=0.6(m), Bar diameter=0.015(m),  
Number of coils=15(圈)。

**GE Position:** 沿 Z 轴移动 0.2(m)。



Name: GO3

Comments/Text attribute C

Description GO position Bipolar GO

Spring

Type: Spring

Comments/Text attribute C

Do not stretch

Parameters Colors GE position Material

Translation

x:		C
y:		C
z:	0.2	C

Rotation

		C
		C
		C

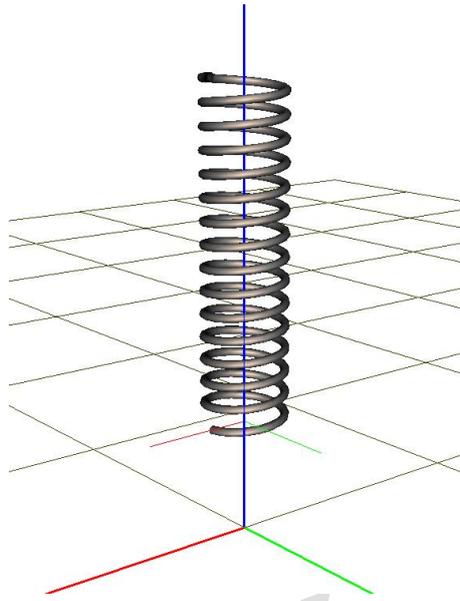
Shift after rotation

x:		C
y:		C
z:		C

Parameters Colors GE position Material

Left  Right

Radius:	0.07	C
Height:	0.6	C
Bar diameter (d):	0.015	C
Number of coils:	15	↕
Coil discretization:	20	↕
Bar discretization:	10	↕



**Cone1 Parameters:**  $R_2=R_1=0.015(m)$ ,  $h=0.2(m)$ 。

勾选 **Do not stretch**。

Name:

Comments/Text attribute C

Description

Spring

Type: Cone

Comments/Text attribute C

Do not stretch  Top

Parameters

Radius (R2):

Radius (R1):

Height (h):

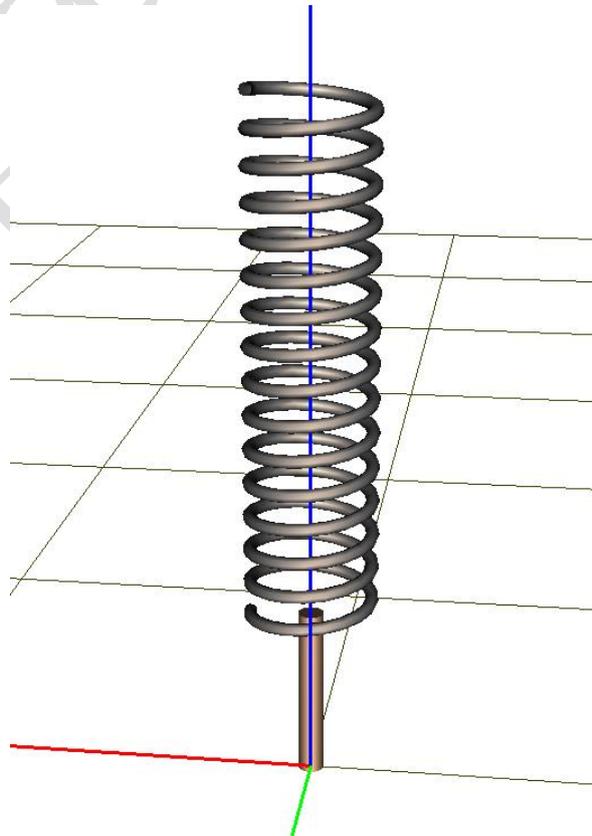
Number of points

Bottom circle:

Generatrix:

Angles:

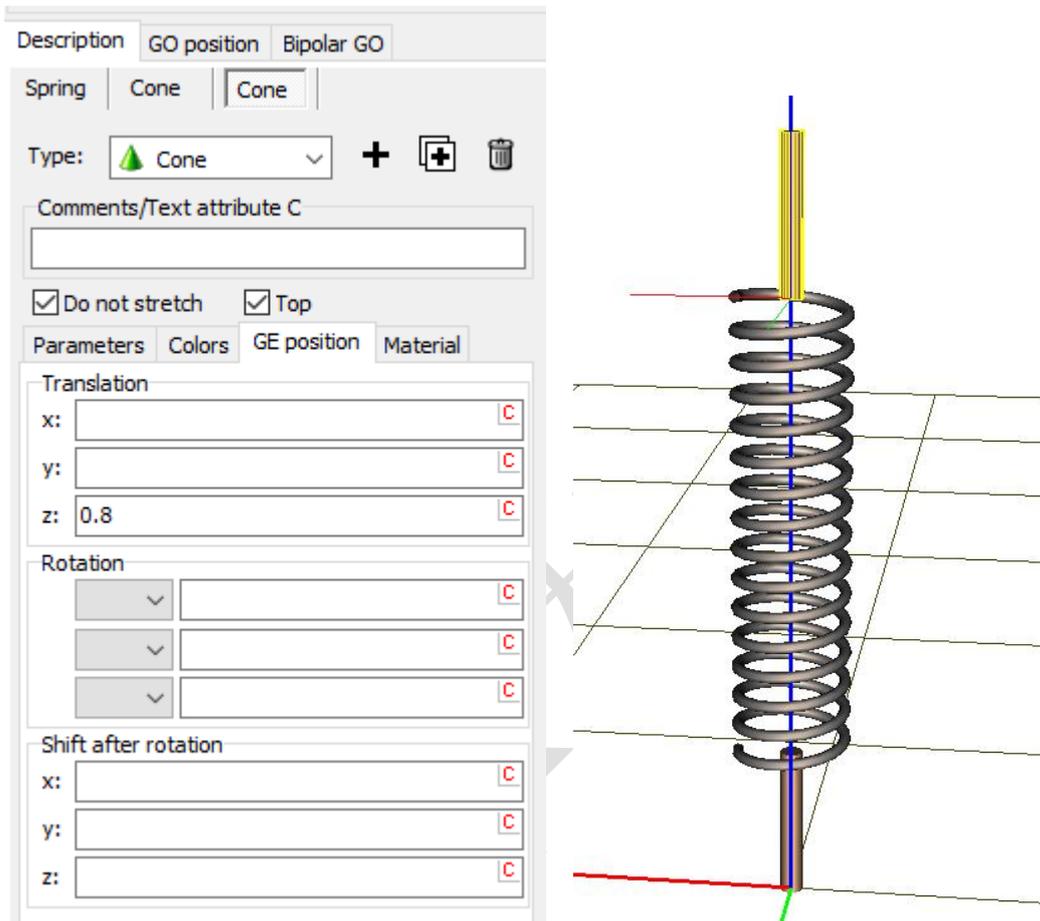
Closing:



**Cone2 Parameters:**  $R_2=R_1=0.015(m)$ ,  $h=0.2(m)$ 。

**GE Position:** 沿 Z 轴移动 0.8(m)。

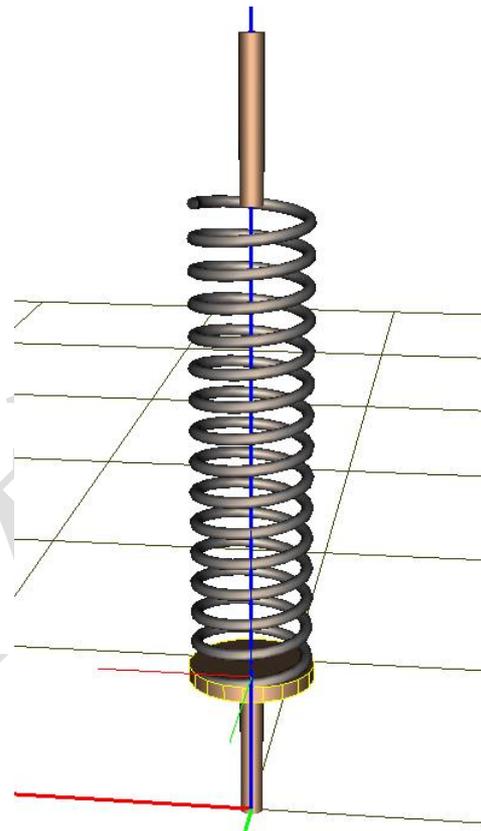
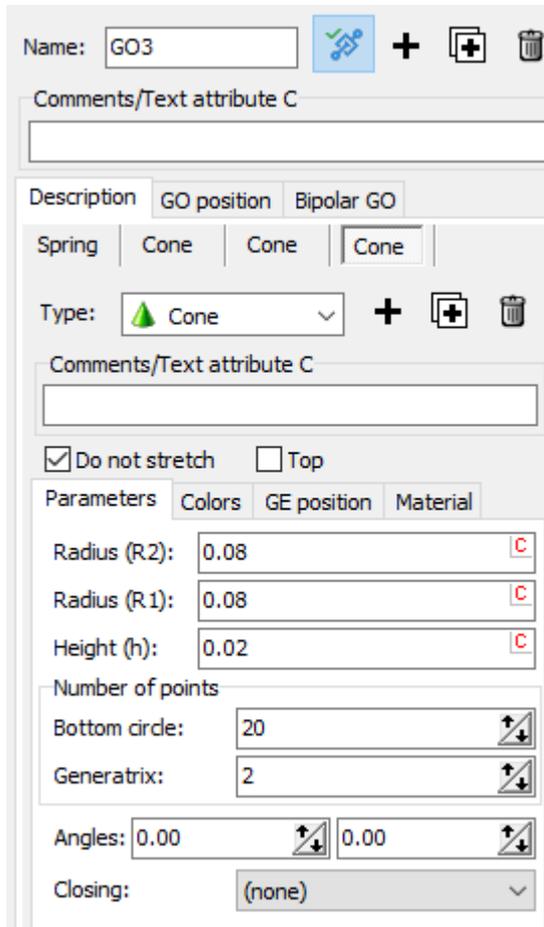
勾选 **Do not stretch** 和 **Top**。



**Cone3 Parameters:**  $R_2=R_1=0.08(m)$ ,  $h=0.02(m)$ 。

**GE Position:** 沿 Z 轴移动 0.19(m)。

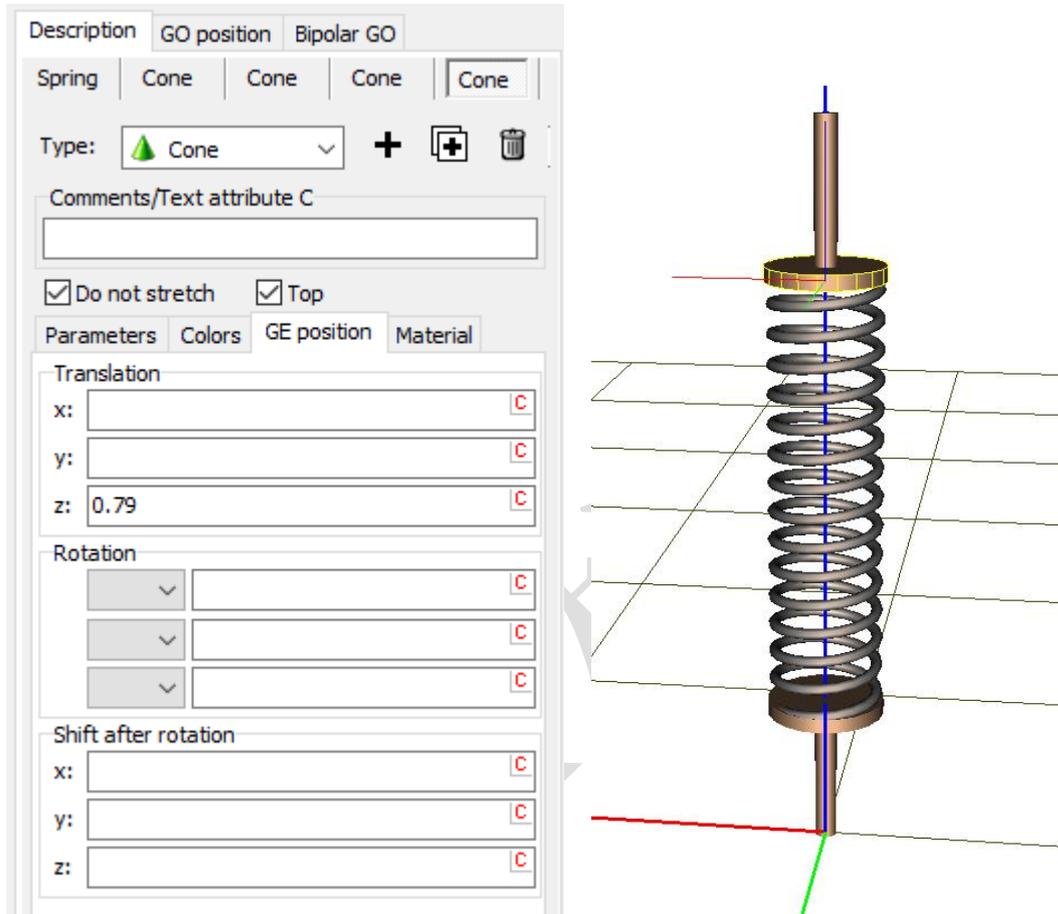
勾选 **Do not stretch**。



**Cone4 Parameters:**  $R_2=R_1=0.08(m)$ ,  $h=0.02(m)$ 。

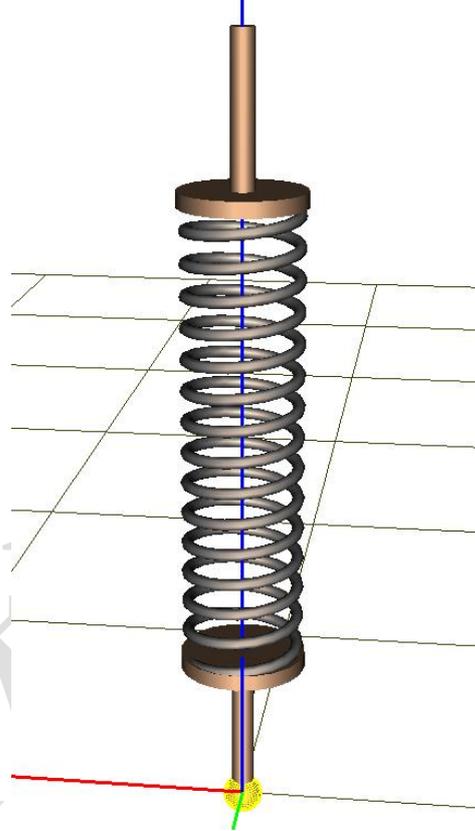
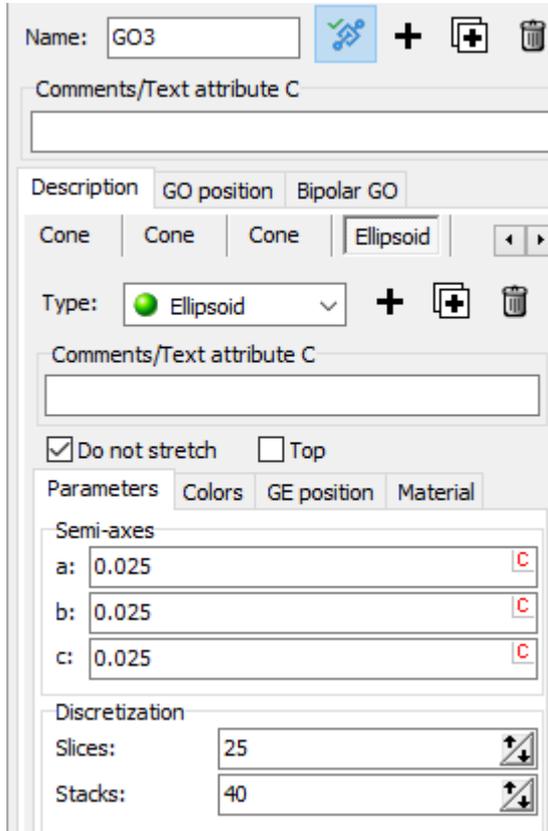
**GE Position:** 沿 Z 轴移动 0.79(m)。

勾选 **Do not stretch** 和 **Top**。



Ellipsoid1 Parameters:  $a=b=c=0.025(m)$ 。

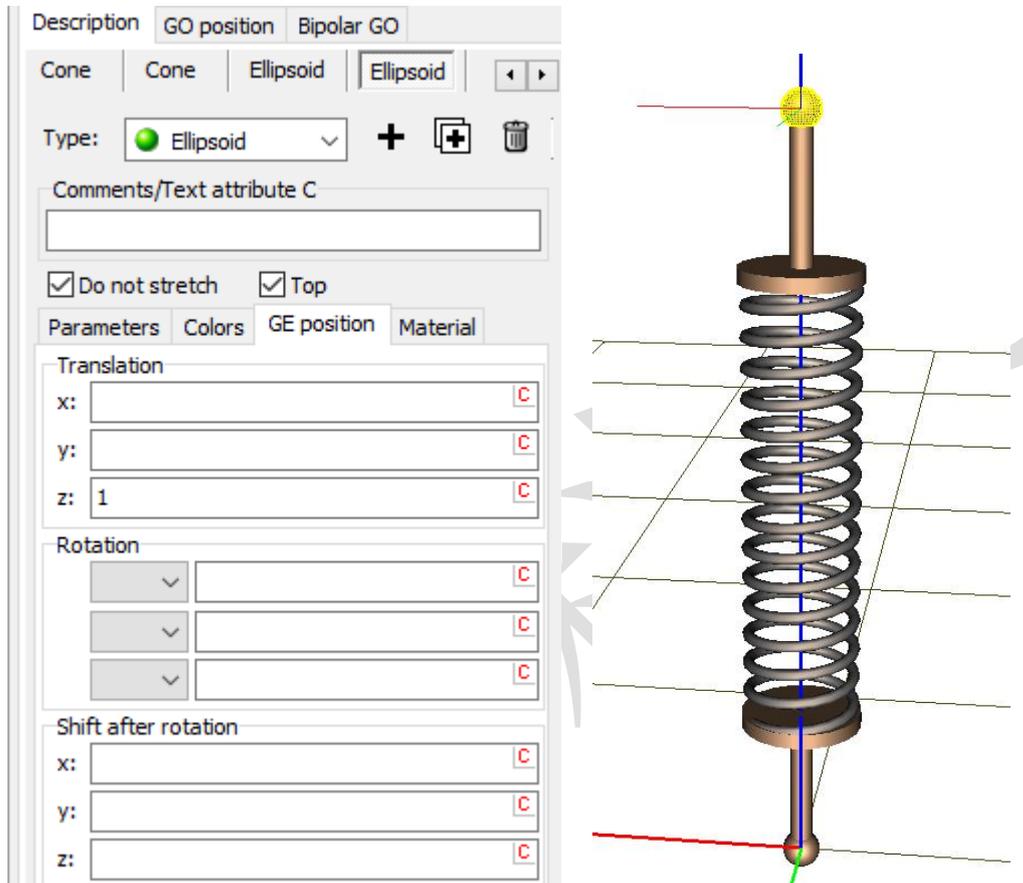
勾选 **Do not stretch**。



**Ellipsoid2 Parameters:**  $a=b=c=0.025(m)$ 。

**GE Position:** 沿 Z 轴移动 1(m)。

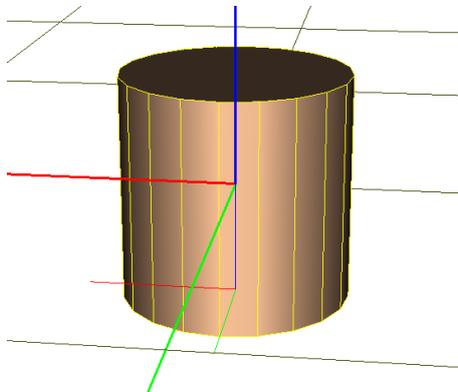
勾选 **Do not stretch** 和 **Top**。



**GO4:** 由 1 个 Cone 组成，颜色为棕色。

**Cone Parameters:**  $R2=R1=0.15(m)$ ,  $h=0.3(m)$ 。

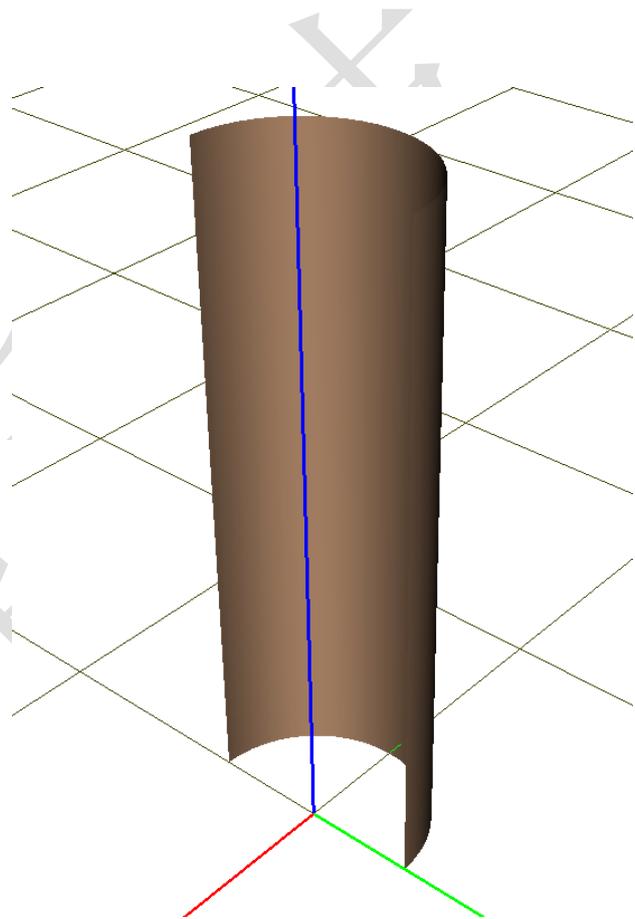
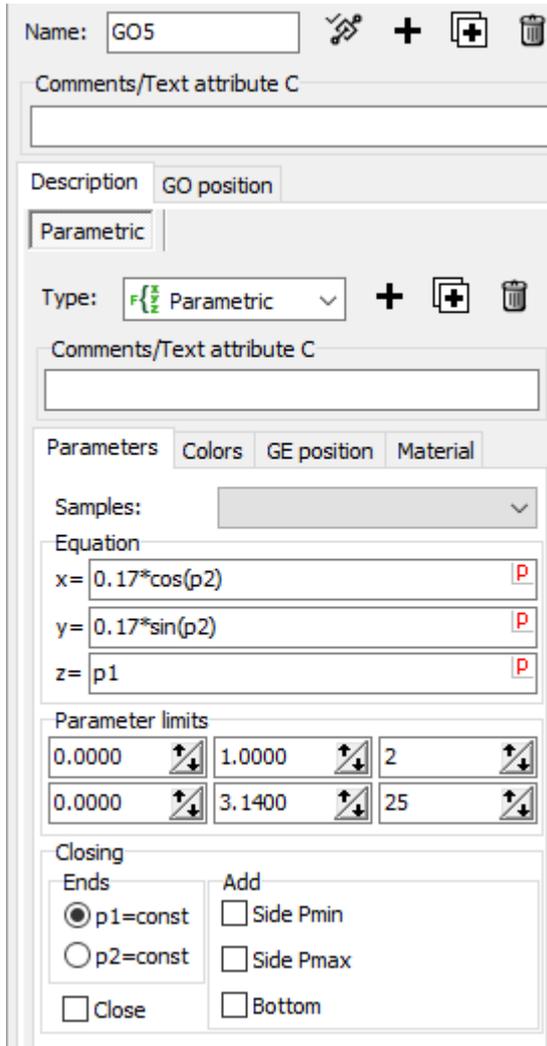
**GE Position:** 沿 Z 轴移动-0.15(m)。



**GO5:** 由 1 个 Parametric 组成，颜色为棕色。

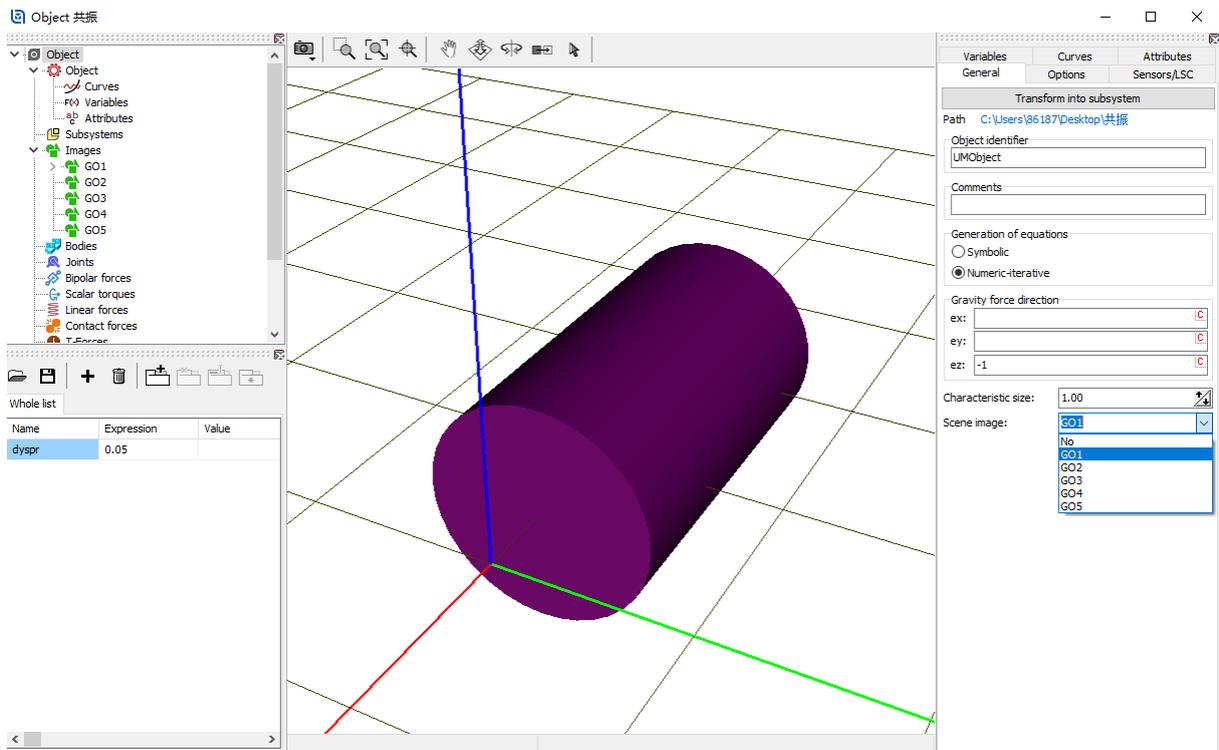
**Cone Parameters:**  $x=0.17*\cos(p2)$ ,  $y=0.17*\sin(p2)$ ,  $z=p1$ ,  $p1 \in [0, 1]$ ,  $p2 \in [0, 3.14]$ ,  $x$ 、 $y$  和  $z$  的单位均为 m。

**GE Position:** 绕 Z 轴转动  $90^\circ$ 。

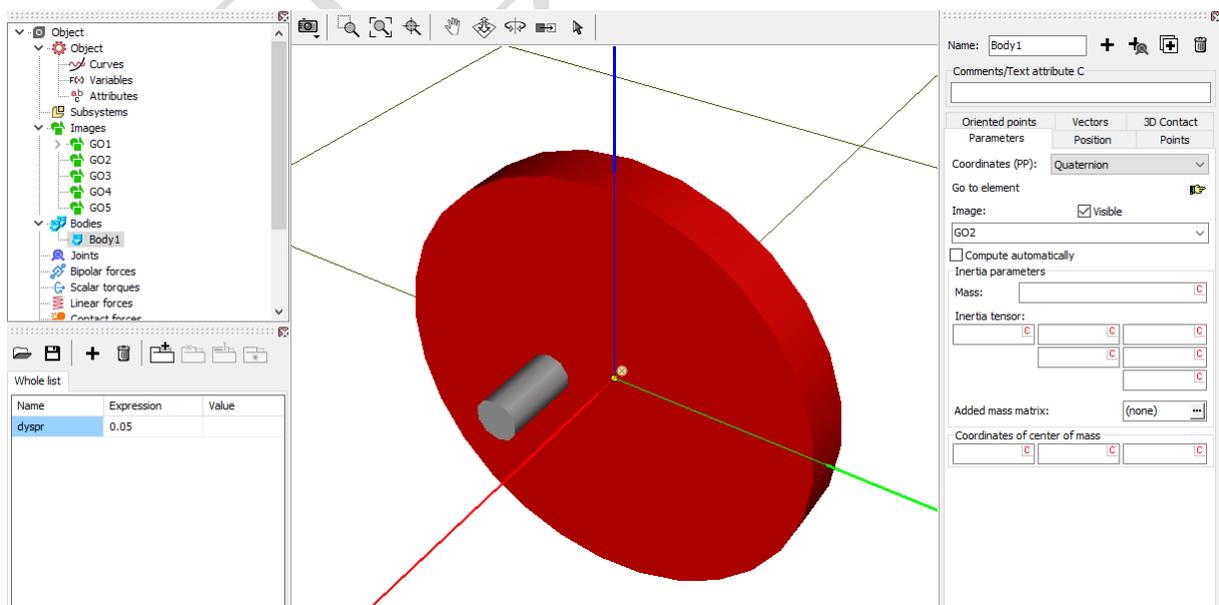


## 1.2 定义刚体参数

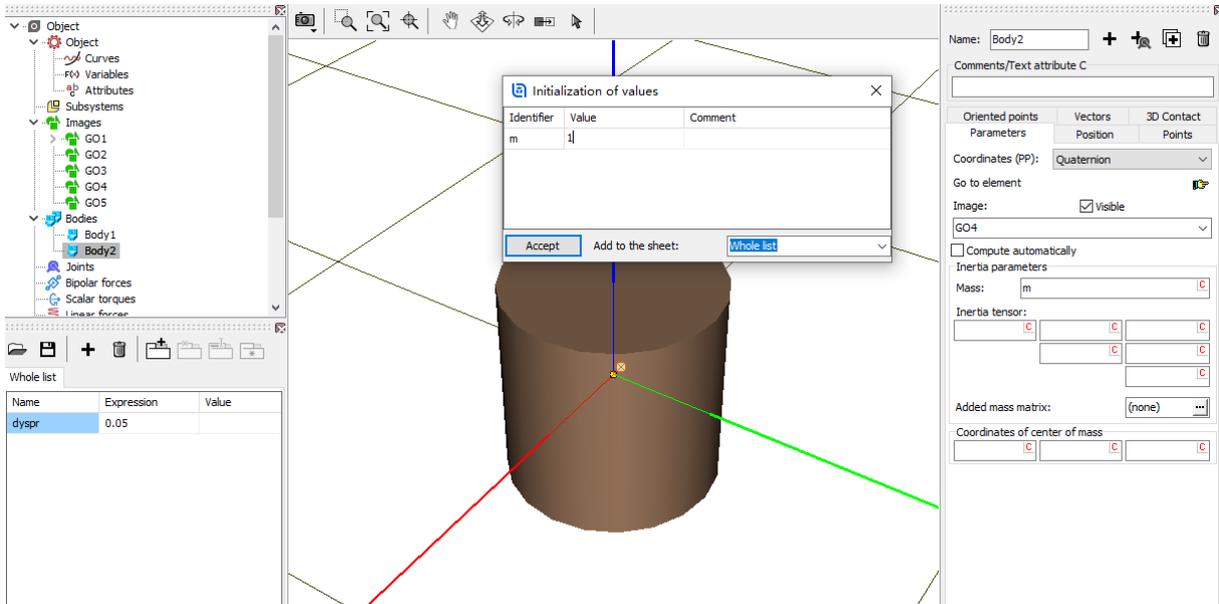
**Base0:** Base0 是每个 UM 多体系统中固有的零号物体，不需要单独创建，可以赋予几何图形，如下图，将 **GO1** 赋给 Base0，即作为 Scene image。



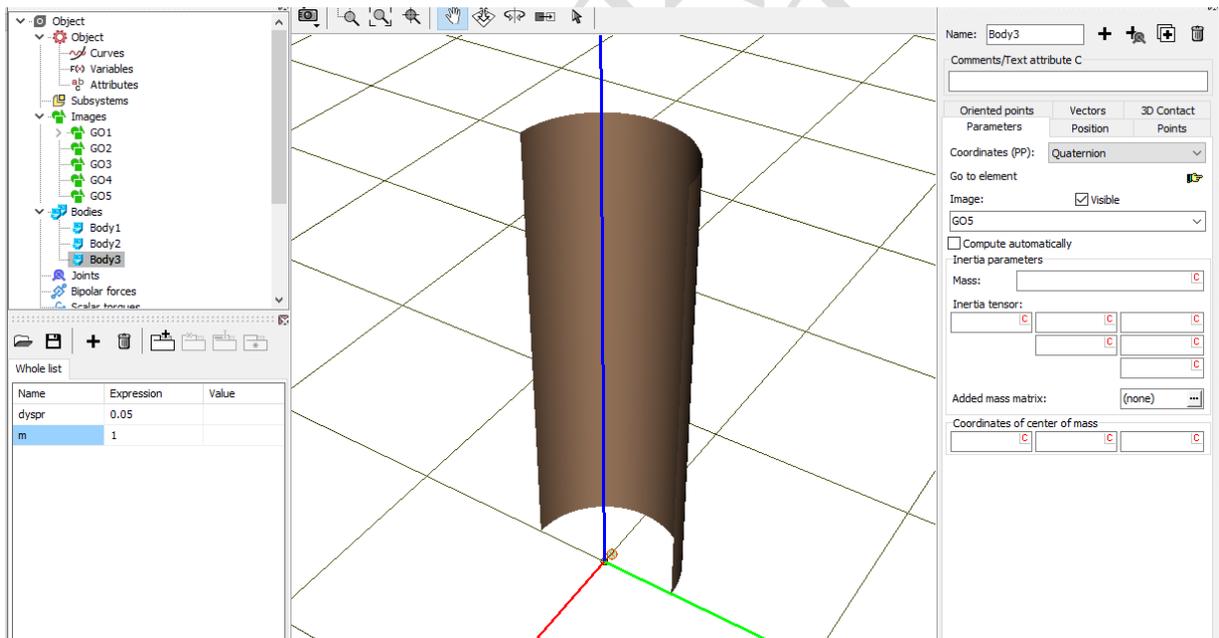
**Body1:** 选择几何 **GO2**，不计质量和转动惯量。



**Body2:** 选择几何 GO4, 定义质量  $m$ , 赋值 1 (kg)。



**Body3:** 选择几何 GO5, 不计质量和转动惯量。

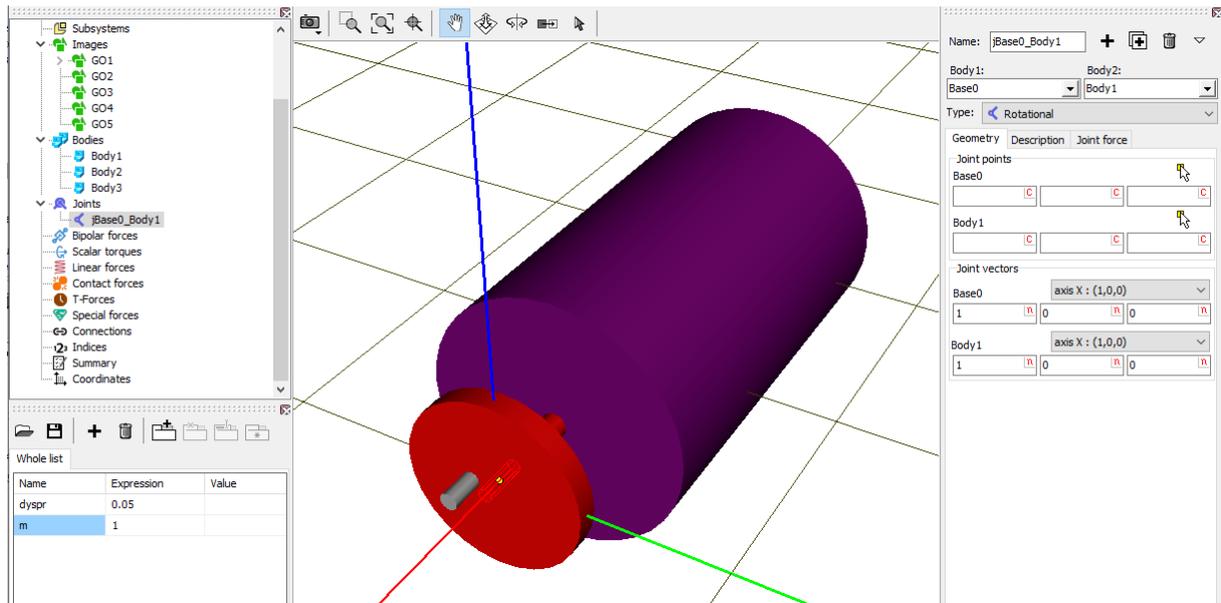


### 1.3 描述铰

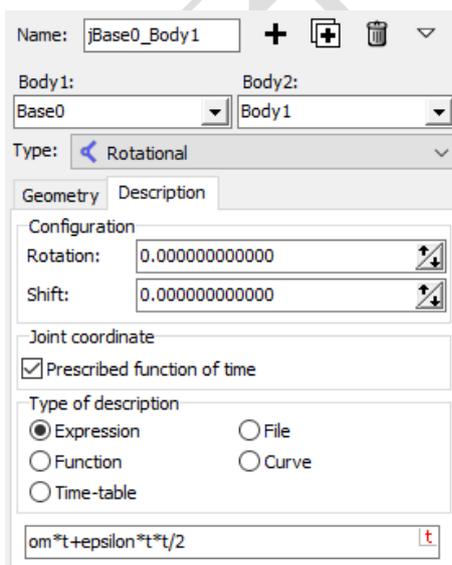
**jBase0\_Body1**: 选择 **Base0** 作为铰的 1 号物体, **Body1** 为 2 号物体, 类型为 Rotational。

**Joint points** (0, 0, 0) 和 (0, 0, 0);

**Joint Vectors** (1, 0, 0) 和 (1, 0, 0)。



**Description:** 勾选 Prescribed function of time, 选择 Expression 类型, 定义函数表达式  $\omega m * t + \epsilon m * t^2 / 2$ , 以此作为角位移驱动, 初始给  $\omega m$  赋值 1,  $\epsilon$  赋值 0。



Initialization of values		
Identifier	Value	Comment
om	1	
epsilon	0	

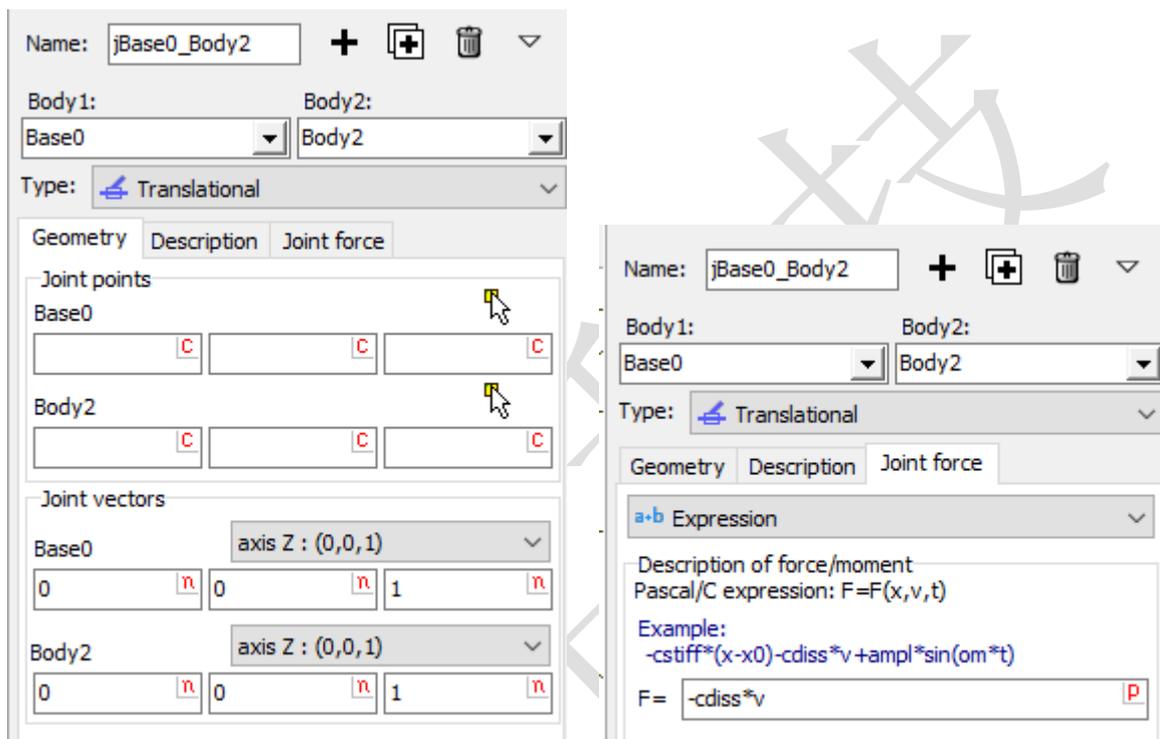
Accept    Add to the sheet:    Whole list

**jBase0\_Body2:** 选择 **Base0** 作为铰的 1 号物体, **Body2** 为 2 号物体, 类型为 Translational。

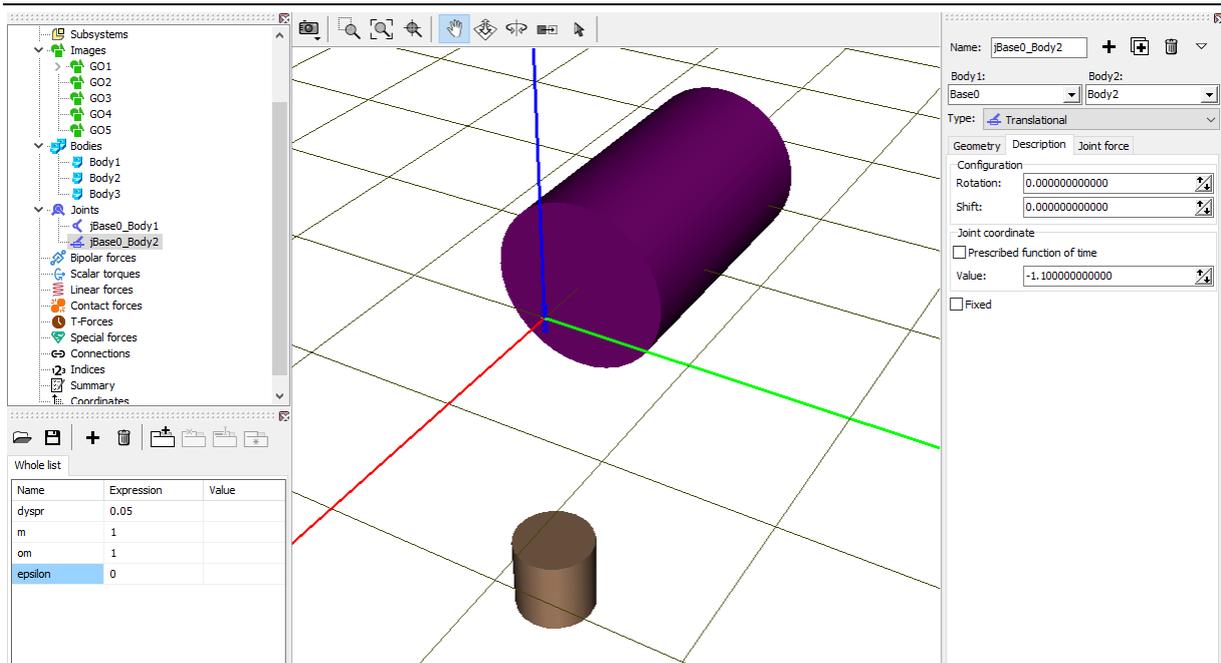
**Joint points** (0, 0, 0) 和 (0, 0, 0);

**Joint Vectors** (0, 0, 1) 和 (0, 0, 1)。

**Joint force:** 选择 Expression 类型, 定义函数表达式  $-cdiss*v$ , 给  $cdiss$  赋值 1 (Ns/m)。



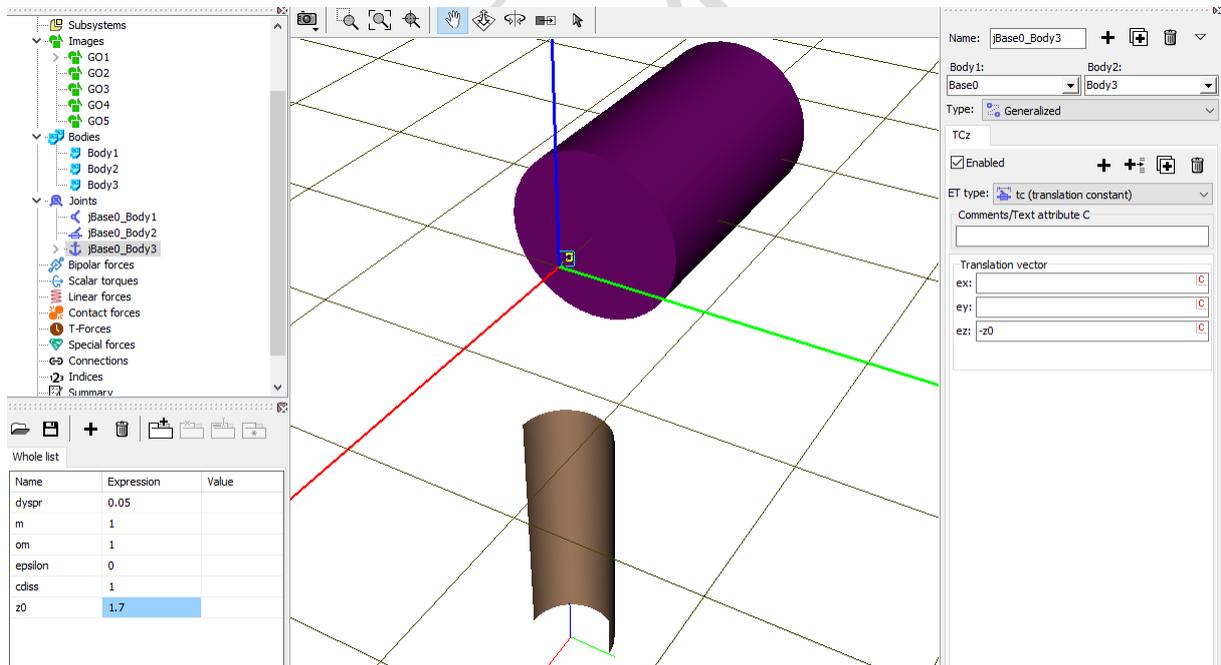
**Description:** 在 Value 处输入 -1.1 (m), 作为初始条件。



**jBase0\_Body3:** 选择 **Base0** 作为铰的 1 号物体, **Body3** 为 2 号物体, 类型为 Generalized。

**ET Type:** 选择 TC (translation constant)。

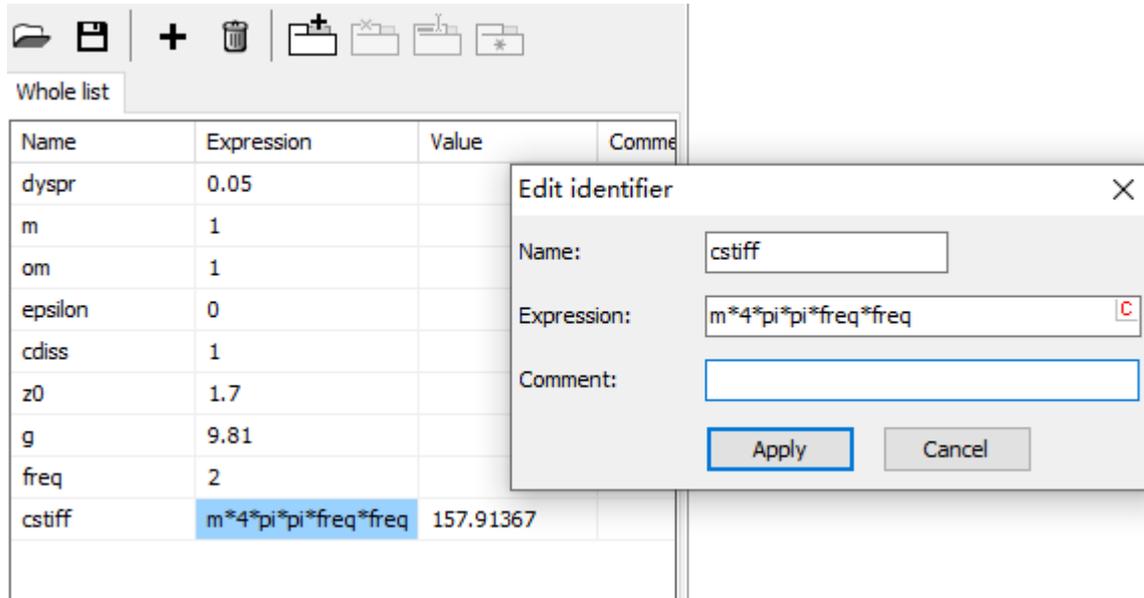
**Translation vector:**  $(0, 0, -z_0)$ , 给  $z_0$  赋值 1.7(m)。



## 1.4 添加力元

**Identifiers:** 在添加力元前，先在左侧下方的标识符列表手动添加几个参数符号。

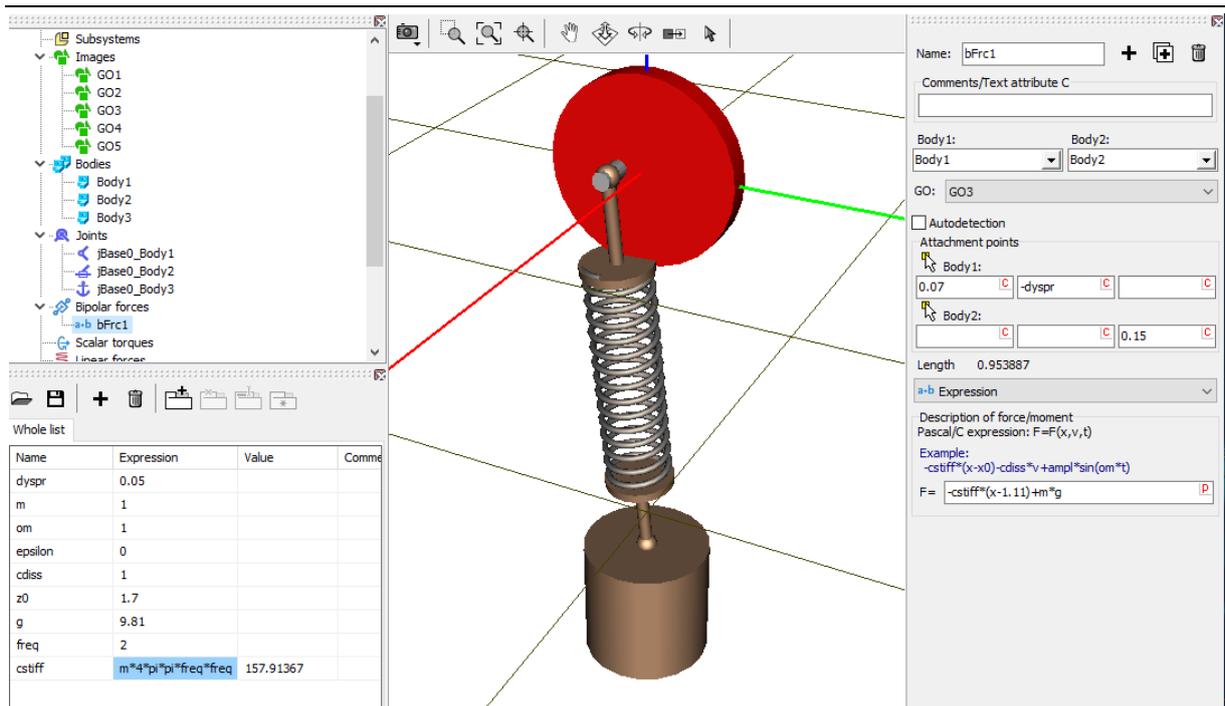
$g=9.81(\text{m/s}^2)$ ,  $\text{freq}=2(\text{Hz})$ ,  $\text{cstiff}=m*4*\pi*\pi*\text{freq}*\text{freq}=157.91367(\text{N/m})$



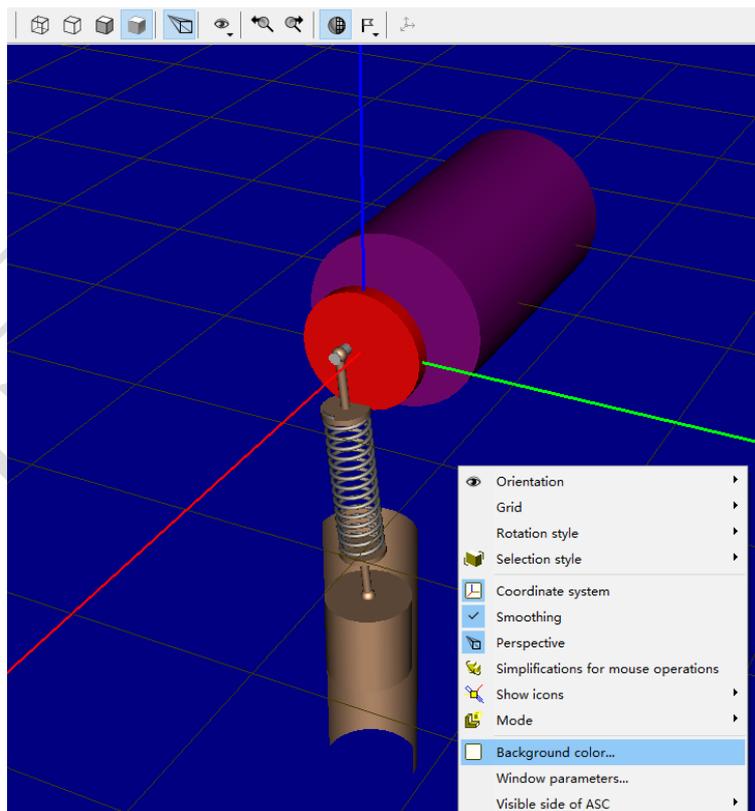
**Bipolar forces:** 选择 **Body1** 作为力元的 1 号物体，**Body2** 为 2 号物体，**GO3** 为几何图形，类型为 Expression。

**Attach points:** 1 号物体连接点坐标  $(0.07, -\text{dyspr}, 0)$ ，2 号物体连接点坐标  $(0, 0, 0.15)$ ，自动计算出当前距离/长度为  $0.953887(\text{m})$ 。

**Expression:** 定义力元函数表达式  $F=-\text{cstiff}*(x-1.11)+m*g$ ，表示弹簧在平衡物体重力的理想状态下，长度为  $1.11(\text{m})$ ， $x$  指的是力元实际长度。



完成建模：切换为全局显示，设置背景颜色为深蓝色，保存模型。

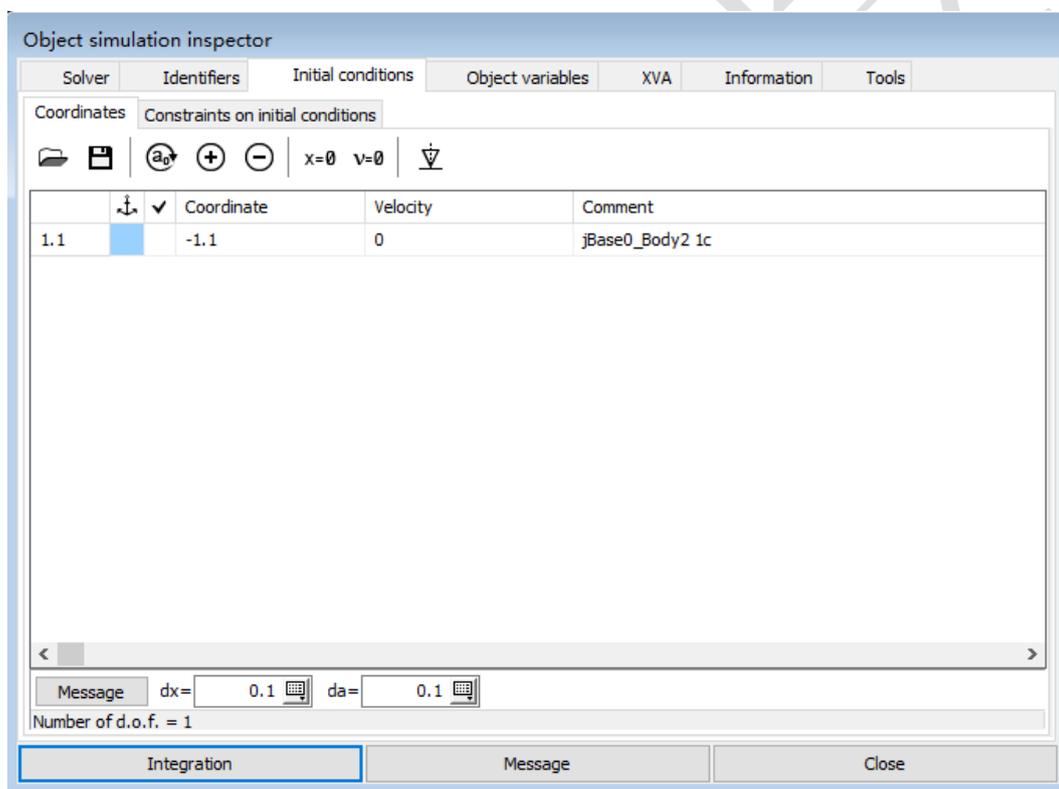


## 2 UM Simulation 仿真过程

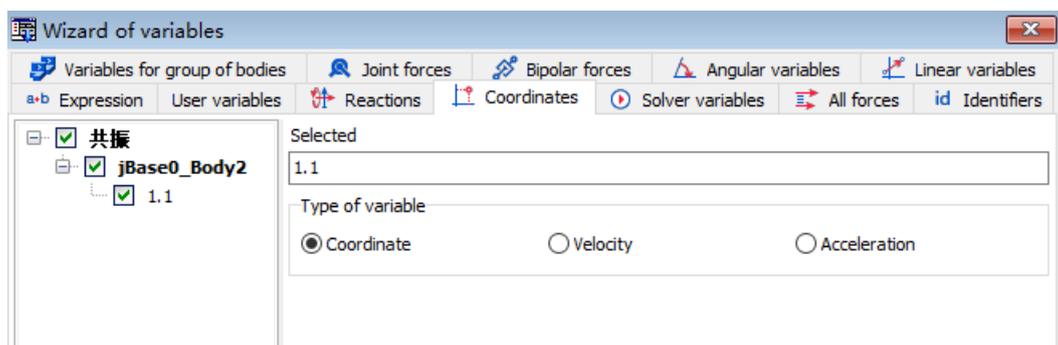
### 2.1 工况 1

本例模型建立了三个刚体，第一个刚体的运动通过时间函数驱动，第三个刚体固定，因此系统只有一个自由度，即第二个刚体沿着 Z 方向的运动。

运行 UM Simulation 程序，加载模型（最好关闭 UM Input 程序），在仿真控制界面的 Initial conditions 页面可以查看铰坐标和系统自由度（点击图标 ）。

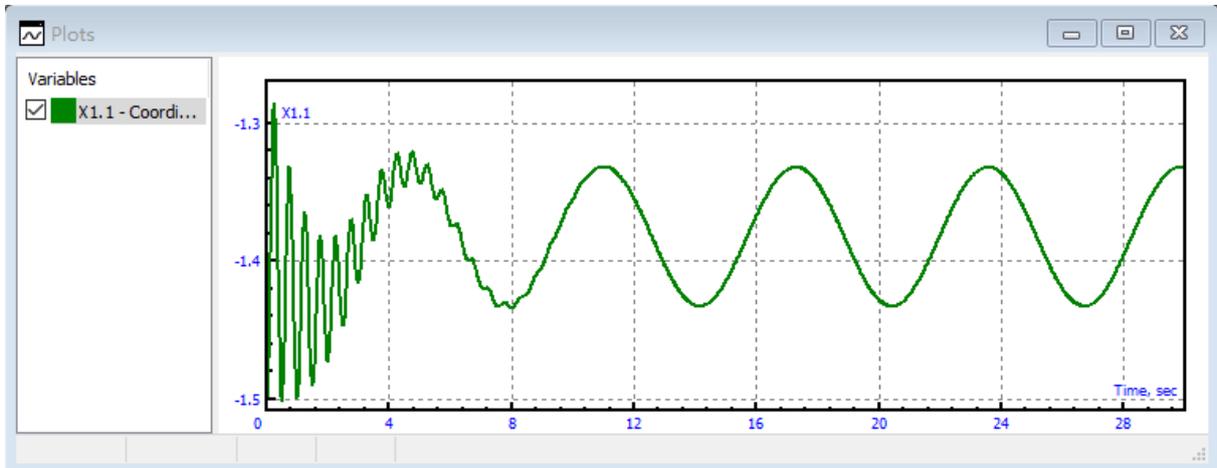


打开变量向导，创建该自由度的位移变量，如下图。

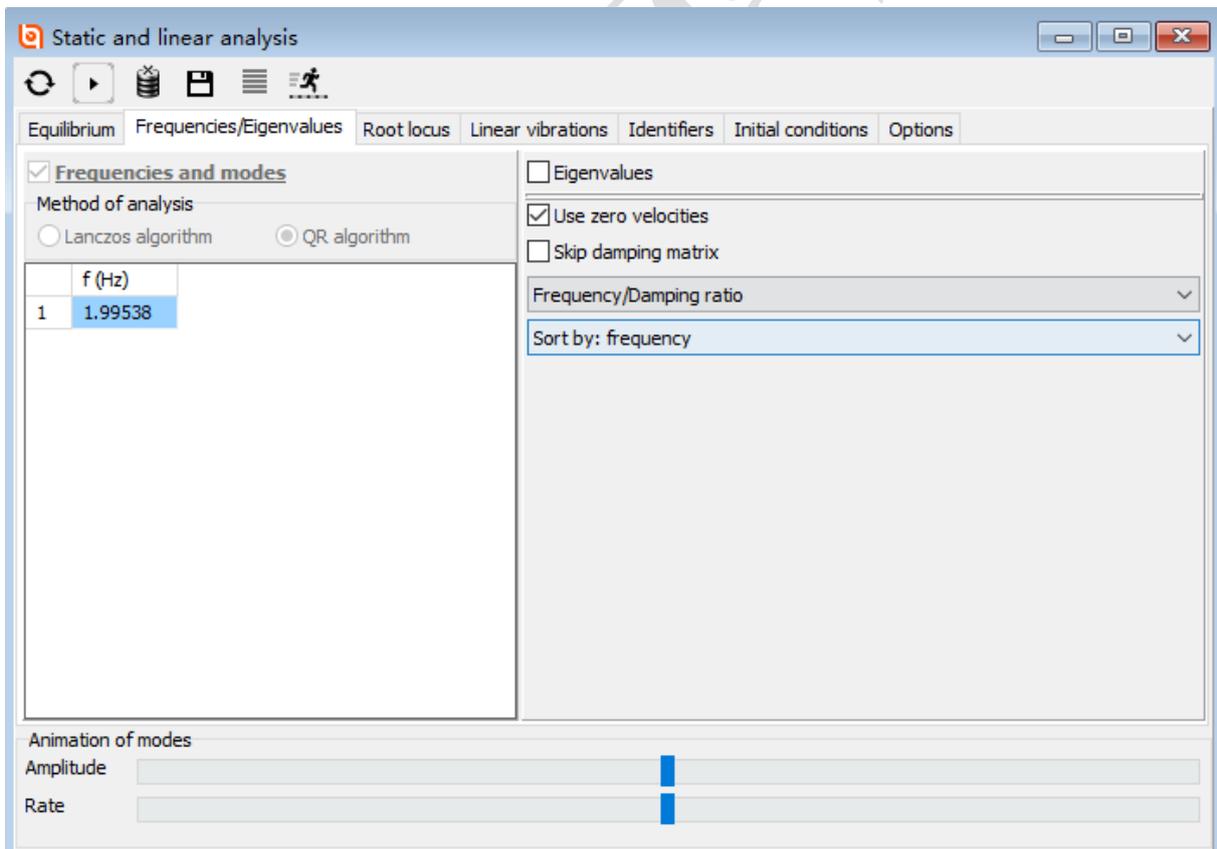


保持初始的模型参数(Identifier)设置不变, 模拟有阻尼的受迫振动, 由于  $\epsilon=0$ , 故角位移表达式  $\omega t + \epsilon t^2/2$  等效为  $\omega t$ , 刚体 1 具有恒定的角速度 1(rad/s)。

设置仿真时间为 30(s), 仿真结果如下图:



关闭时域仿真, 运行线性分析工具, 可以计算振动系统的固有频率, 本例结果为 1.99538(Hz)。



## 2.2 工况 2

关闭线性分析工具，打开时域仿真界面，在 Identifiers 页面，修改阻尼系数  $cdiss$  为  $0(Ns/m)$ ，即变为无阻尼的受迫振动。

Object simulation inspector

Solver Identifiers Initial conditions Object variables XVA Information Tools

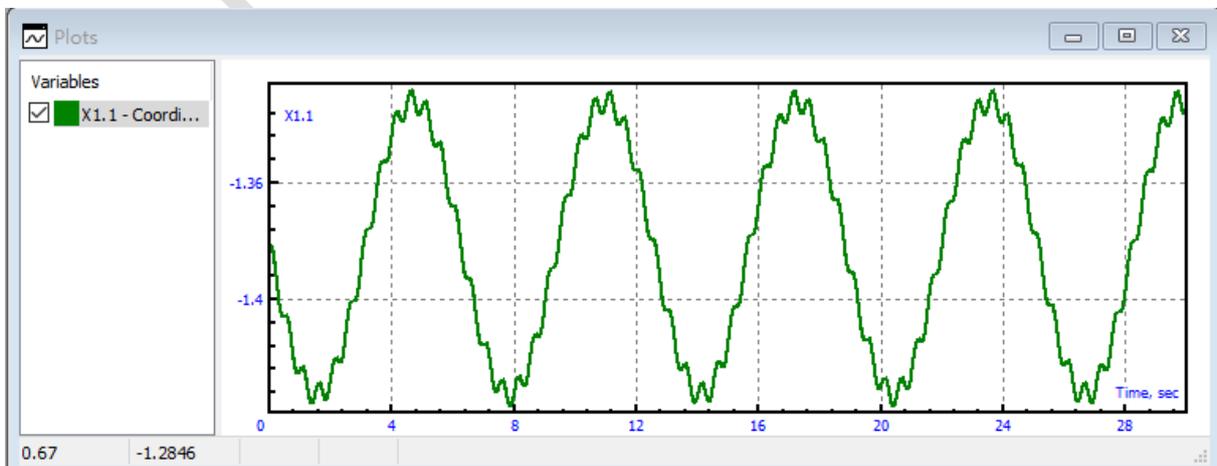
List of identifiers Identifier control

Whole list

Name	Expression	Value	Comment
dyspr	0.05		
m	1		
om	1		
epsilon	0		
cdiss	0		
z0	1.7		
g	9.81		
freq	2		
cstiff	$m*4*pi*pi*freq*freq$	157.91367	

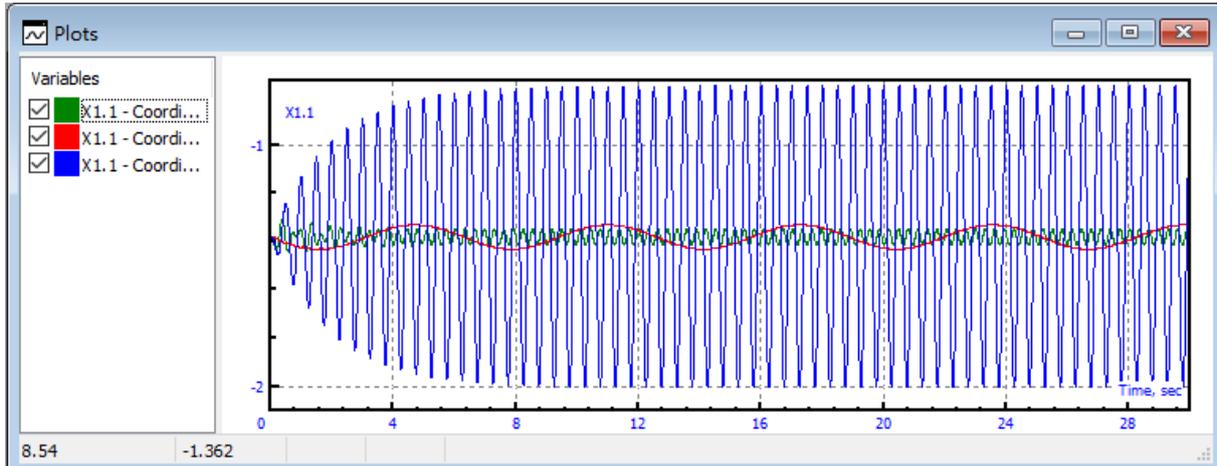
Integration Message Close

时域仿真结果如下图：



### 2.3 工况 3

又将阻尼系数  $c_{diss}$  修改为  $1(Ns/m)$ ，对刚体 1 的角速度参数  $\omega_m$  ( $rad/s^2$ )取不同的数值(1, 12.56, 20)，分别计算，并保存静态变量。结果对比如下图：



当  $\omega_m=12.56(rad/s^2)$ 时，振动明显加剧（蓝色曲线），因为这接近系统的固有频率 2 (Hz)。

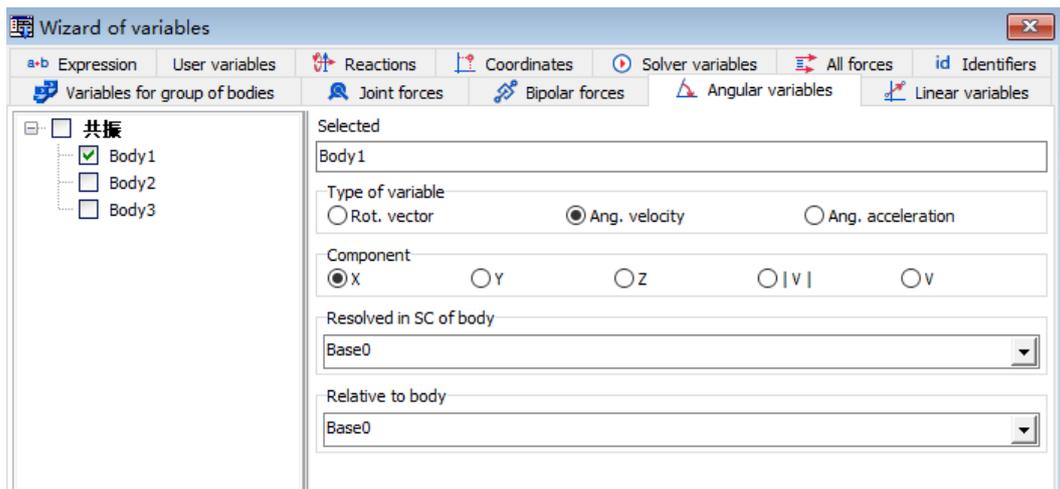
注：单自由度系统的固有频率可用 UM 软件自带的符号计算器（Tools-Symbolic calculator）计算获得，与建模时的输入一致。

Name	Expression	Value	Comment
m	1		
k	157.91367		
omega	$\sqrt{k/m}$	12.566371	
f	$\omega_m/2/\pi$	2	

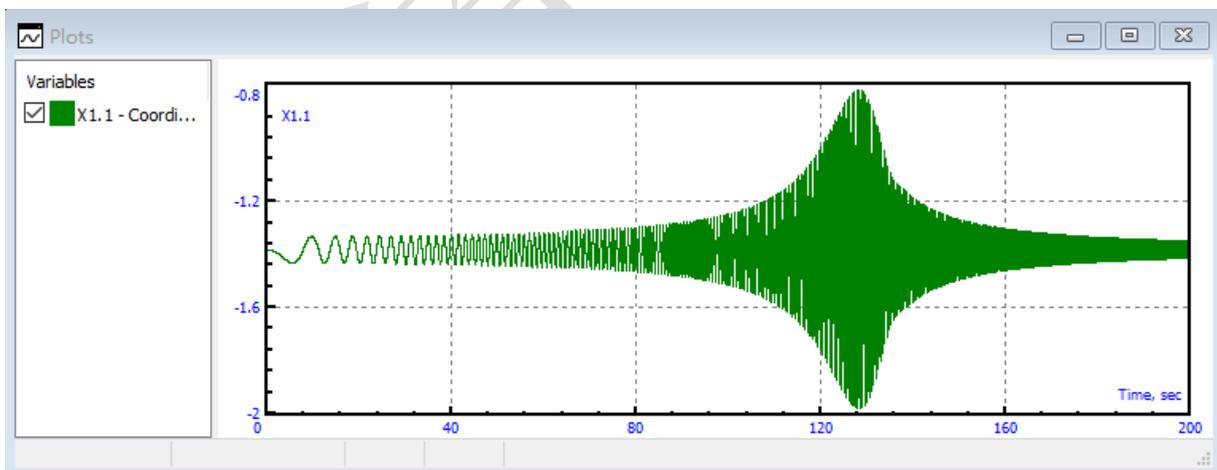
## 2.4 工况 4

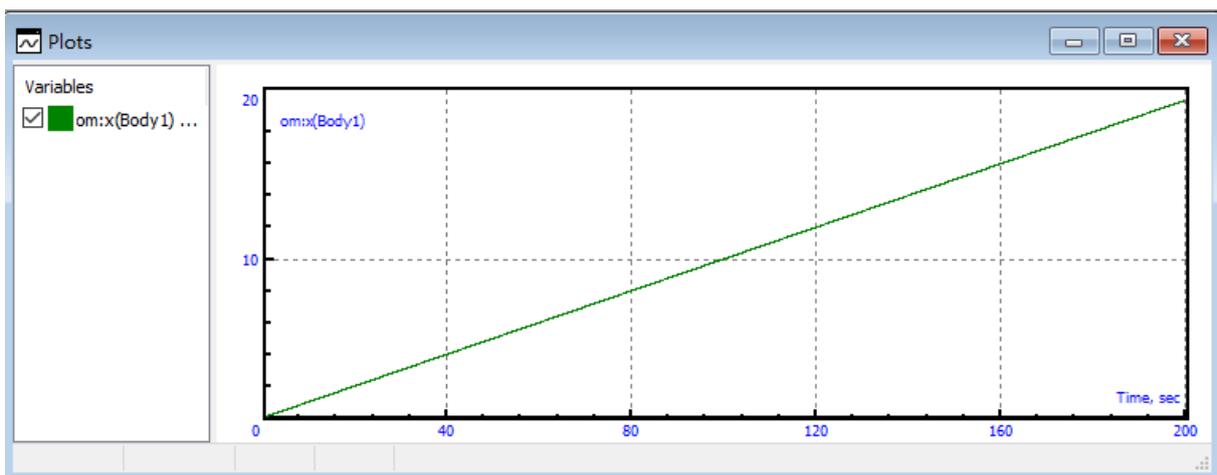
将角速度参数  $\omega$  修改为  $0(\text{rad/s})$ ，角加速度参数  $\epsilon$  改为  $0.1(\text{rad/s}^2)$ ，此时角位移表达式  $\omega*t + \epsilon*t*t/2$  等效为  $\epsilon*t*t/2$ ，故刚体 1 不再是匀速转动，其角速度随时间线性变化。

打开变量向导，创建刚体 1 的角速度变量。

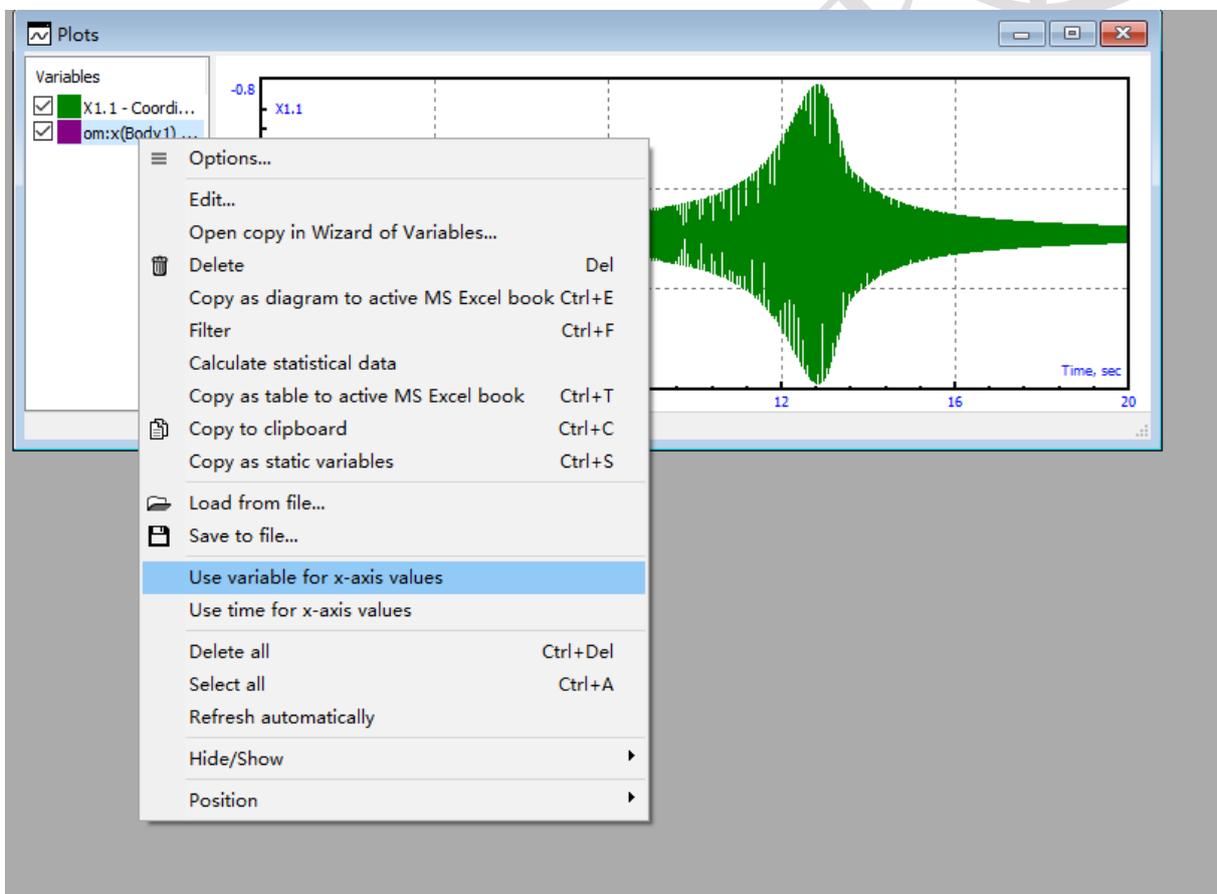


设置仿真时间为 200(s)，计算结果如下图：



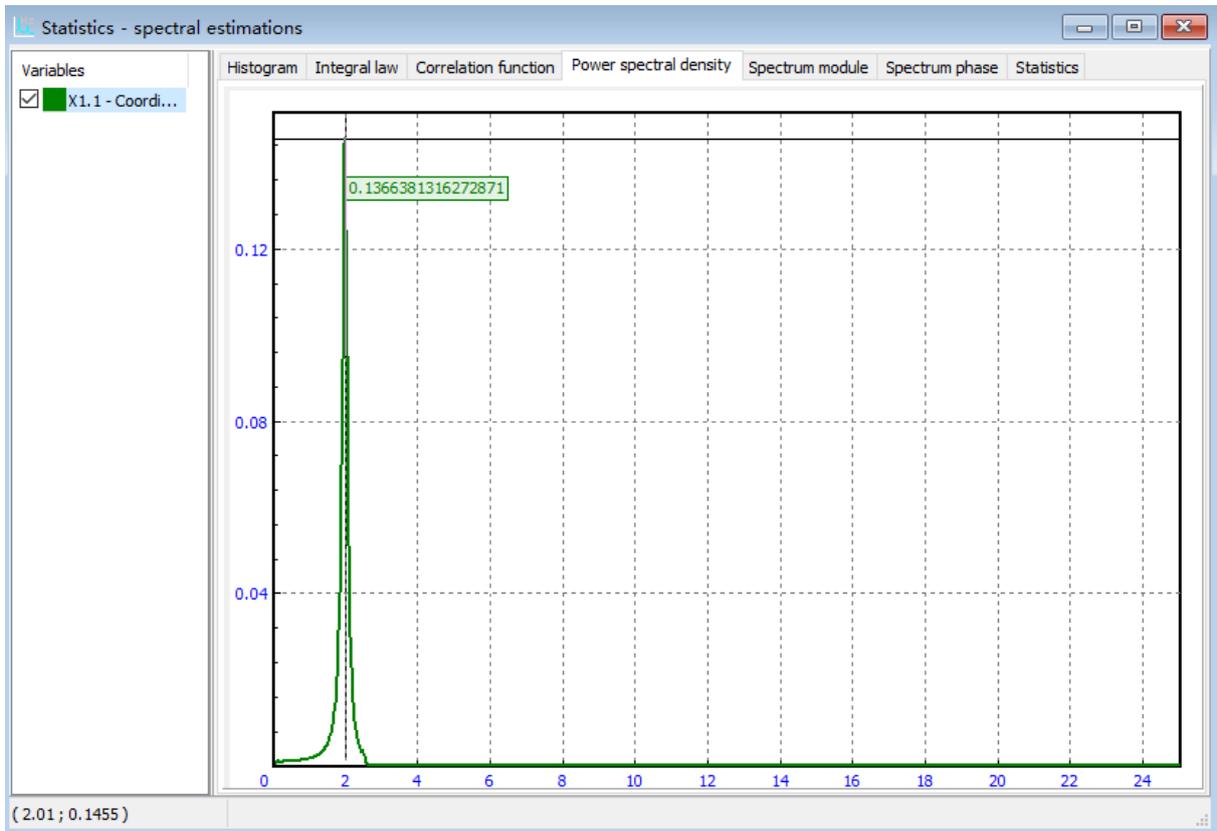


如果将两个变量放在一个绘图窗口，则可以设置其中一个为横坐标，以代替时间。



由上图可知，显然在角速度达到 13(rad/s)附近，系统发生明显的共振现象。

打开 Tools 里的 Statistics 工具，将位移变量拖入，查看功率谱密度函数，如下图：

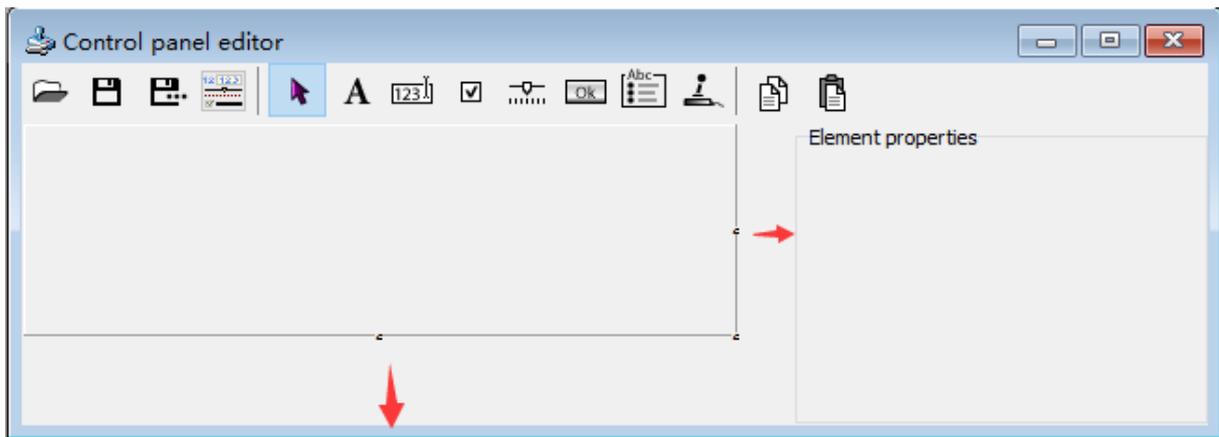


## 2.5 工况 5

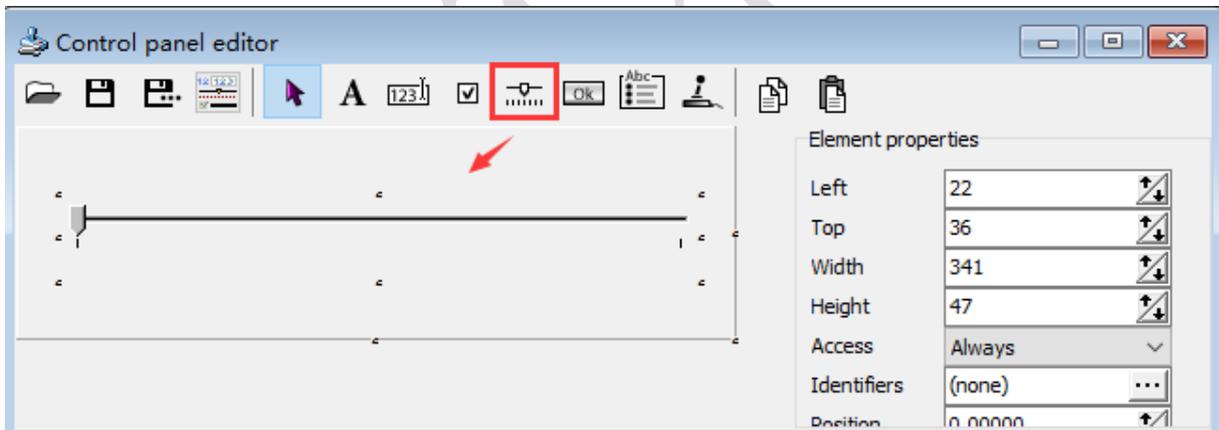
又将角加速度参数  $\epsilon$  改为 0，下面演示如何在仿真过程中实时地控制  $\omega$  参数的变化。

从 Tools 主菜单选择 Control panel editor，这是一个简易的面向对象编程工具。

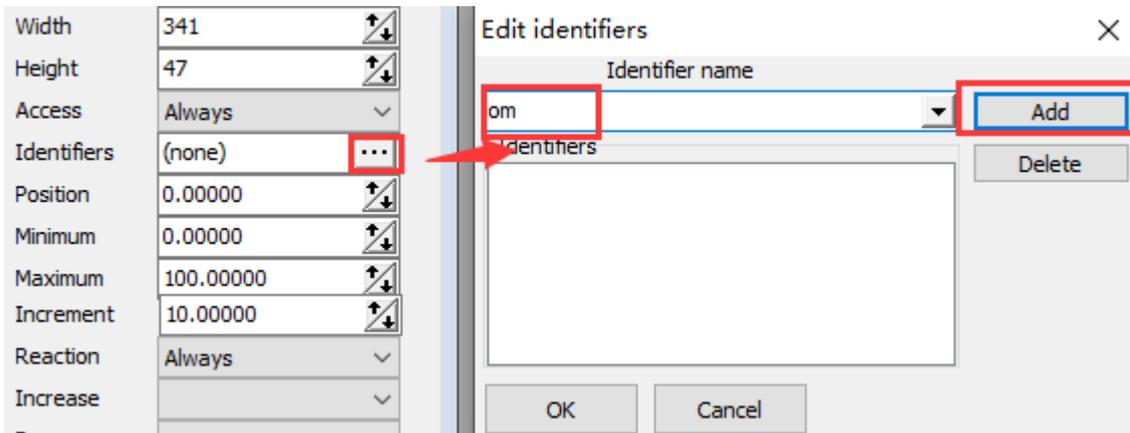
先调整好窗体大小。



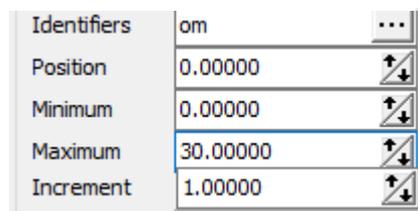
选中滚动条控件，在窗体上点一下，并调整位置和尺寸。



点击 Identifiers 旁边的...图标，在下拉菜单中选择符号 om，点击 Add，OK。



设置 om 的数值区间为[0, 30]，步长为 1。



完成以上设置后，保存控制模型。

再从主菜单 Tools-Open control panel，打开控制模型。

开始仿真计算，在计算过程中可随时随地调节 om 的数值。

