



多体系统动力学仿真

UM 软件强基训练系列教程
(08)

四川同算科技有限公司

2022 年 7 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取自 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。

目录

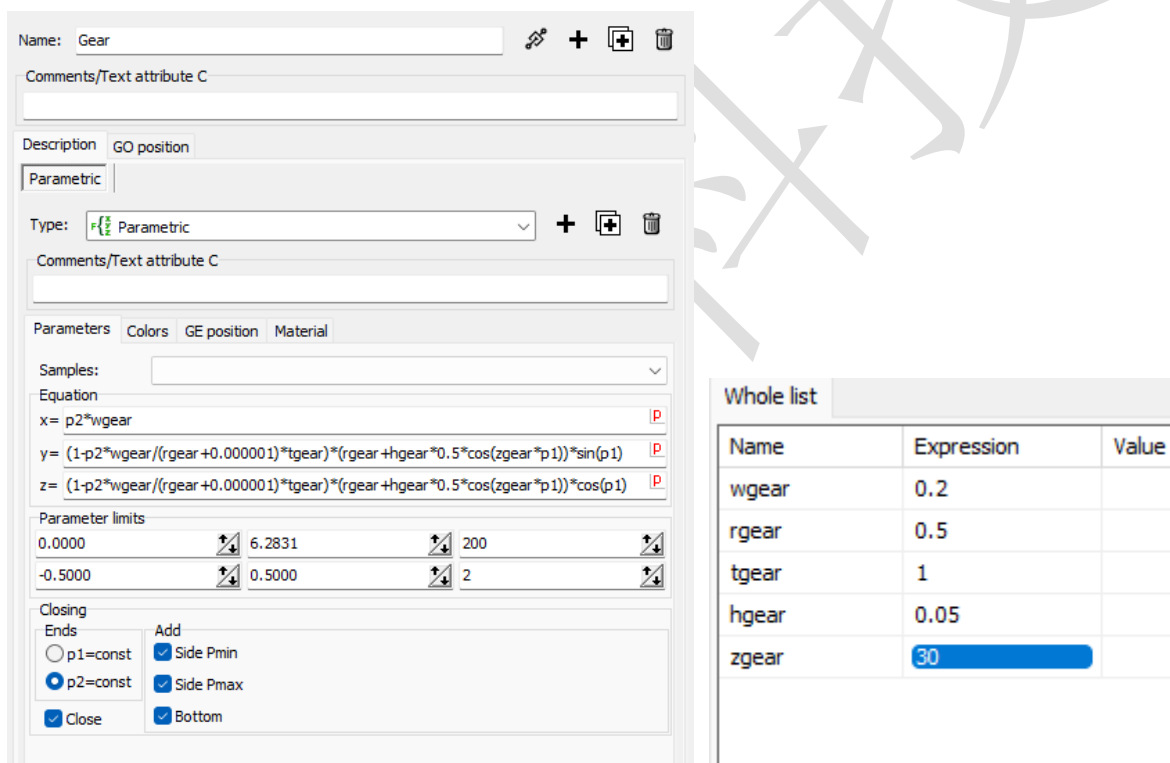
1	UM INPUT 建模过程	4
1.1	建立几何模型	4
1.2	定义刚体参数	20
1.3	描述铰	22
1.4	添加力元	24
2	UM SIMULATION 仿真过程	26
2.1	设置初始约束条件	26
2.2	仿真计算	29

1 UM Input 建模过程

1.1 建立几何模型

Gear: 由 1 个 Parametric (红色)组成。

Parametric Parameters: 从 Samples 下拉菜单中选择 Gear 以调用 UM 预置的齿轮参数方程,程序会自动创建齿轮的 5 个尺寸参数,分别定义 $w_{\text{gear}}=0.2(\text{m})$, $r_{\text{gear}}=0.5(\text{m})$, $t_{\text{gear}}=1$, $h_{\text{gear}}=0.05(\text{m})$, $z_{\text{gear}}=30$ 。



Name: Gear

Comments/Text attribute C

Description: GO position

Parametric

Type: Parametric

Comments/Text attribute C

Parameters: Colors GE position Material

Samples:

Equation

$$x = p2 * w_{\text{gear}}$$

$$y = (1 - p2 * w_{\text{gear}} / (r_{\text{gear}} + 0.000001) * t_{\text{gear}}) * (r_{\text{gear}} + h_{\text{gear}} * 0.5 * \cos(z_{\text{gear}} * p1)) * \sin(p1)$$

$$z = (1 - p2 * w_{\text{gear}} / (r_{\text{gear}} + 0.000001) * t_{\text{gear}}) * (r_{\text{gear}} + h_{\text{gear}} * 0.5 * \cos(z_{\text{gear}} * p1)) * \cos(p1)$$

Parameter limits

0.0000	6.2831	200
-0.5000	0.5000	2

Closing

Ends

☐ p1=const

☒ p2=const

☒ Close

Add

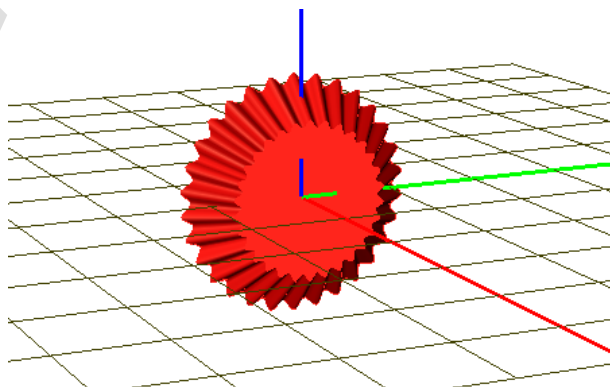
☒ Side Pmin

☒ Side Pmax

☒ Bottom

Whole list

Name	Expression	Value
wgear	0.2	
rgear	0.5	
tgear	1	
hgear	0.05	
zgear	30	



Rotor1: 由一个 Profiled 组成，颜色为棕色。

Profiled Parameters:

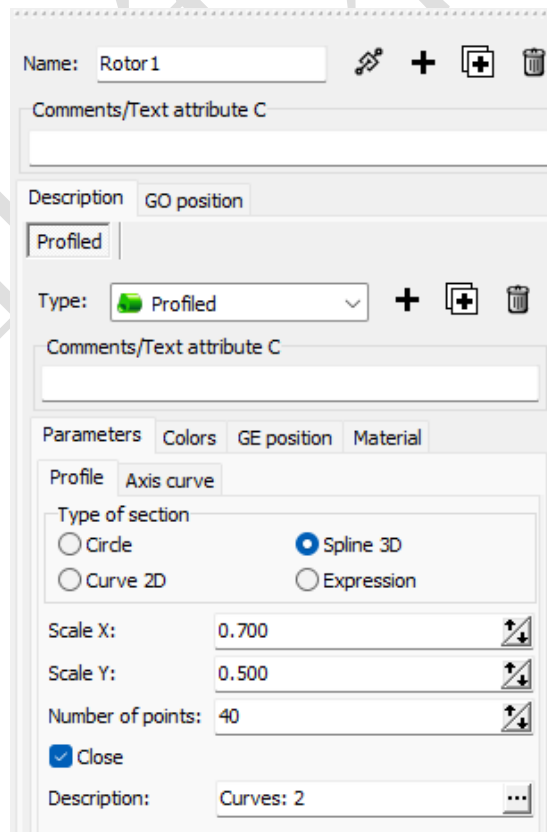
Profile: Type of section: Spline 3D; Scale X=0.7, Scale Y=0.5;

勾选 Close，点击 Description 右侧  图标，创建两条曲线，坐标如下表：

Curve1			Curve2		
序号	X	Y	序号	X	Y
1	0	0	1	0	0
2	0.4	0.05	2	0.3214	0.2433
3	0.3	0.12	3	0.1998	0.2539
4	0.1	0.136	4	0.0186	0.1678
5	-0.4	0.03	5	-0.3614	-0.1740
6	0	0	6	0	0

拟合方式全部选择 Cubic spline。

Axis curve: Type of curve: Straight line, Length=6(m)。



Name: Rotor1

Comments/Text attribute C

Description GO position

Profiled

Type: Profiled

Comments/Text attribute C

Parameters Colors GE position Material

Profile Axis curve

Type of section

☐ Circle ☒ Spline 3D ☐ Expression

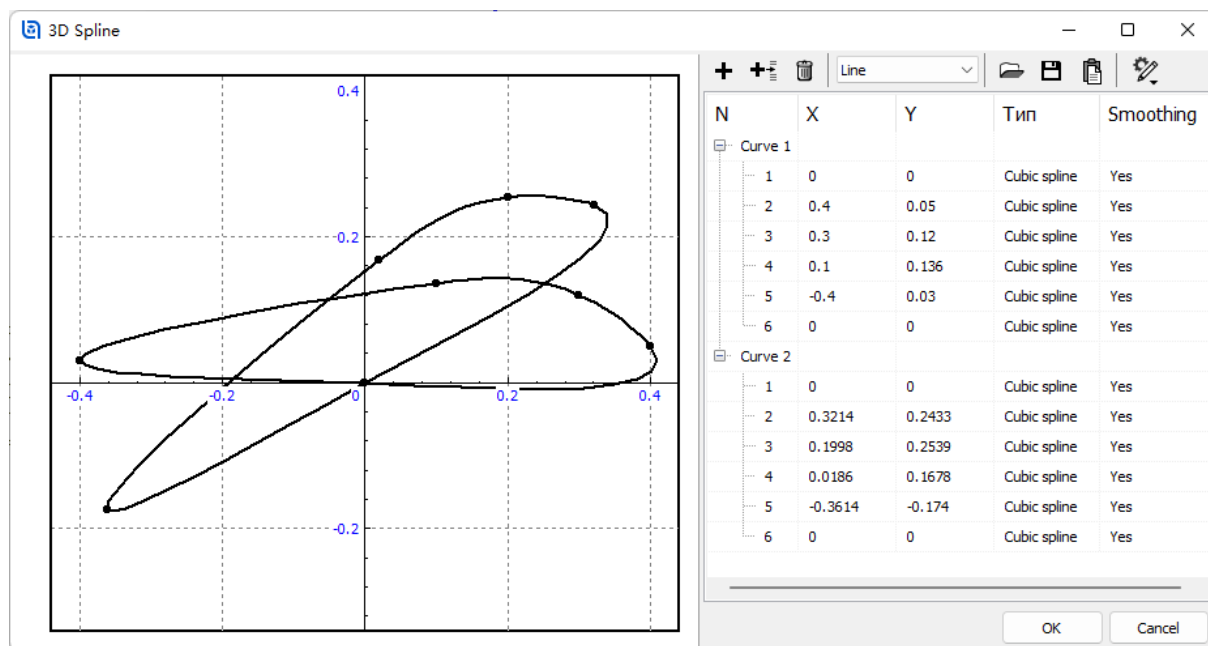
Scale X: 0.700

Scale Y: 0.500

Number of points: 40

☒ Close

Description: Curves: 2



Description GO position

Profiled

Type: Profiled +

Comments/Text attribute C

Parameters Colors GE position Material

Profile Axis curve

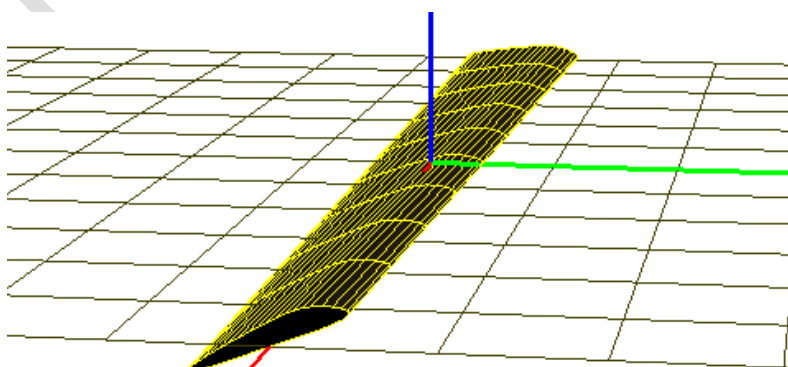
Type of curve: Straight line

Length 6.000

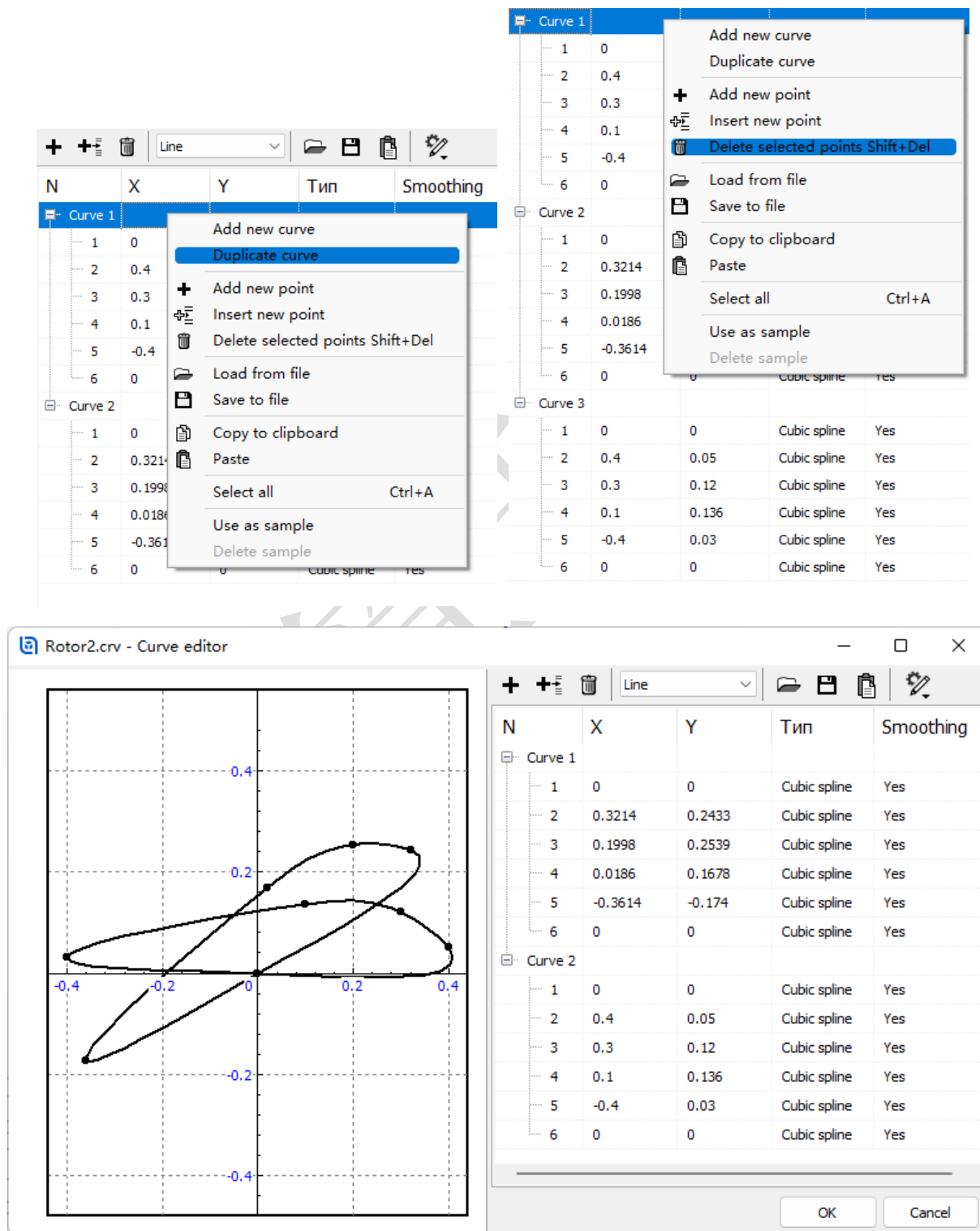
Number of points: 10

☐ Reverse normal on ends

☐ Do not rotate about the tangent



Rotor2: 复制 Rotor1, 打开曲线编辑器, 选中 Curve1, 右键选择 Duplicate curve, 再删除 Curve1, 这样就实现了两条曲线顺序的交换。(注: 读者也可以将曲线保存为.crv 文件, 使用记事本编辑来交换两条曲线的顺序。)



Name: Rotor2
+
+
-

Comments/Text attribute C

Description GO position

Profiled

Type: Profiled
+
+
-

Comments/Text attribute C

Parameters Colors GE position Material

Profile Axis curve

Type of section
☐ Circle ☒ Spline 3D
☐ Curve 2D ☐ Expression

Scale X: 0.700

Scale Y: 0.500

Number of points: 40

☒ Close

Description: Curves: 2

Description GO position

Profiled

Type: Profiled
+
+
-

Comments/Text attribute C

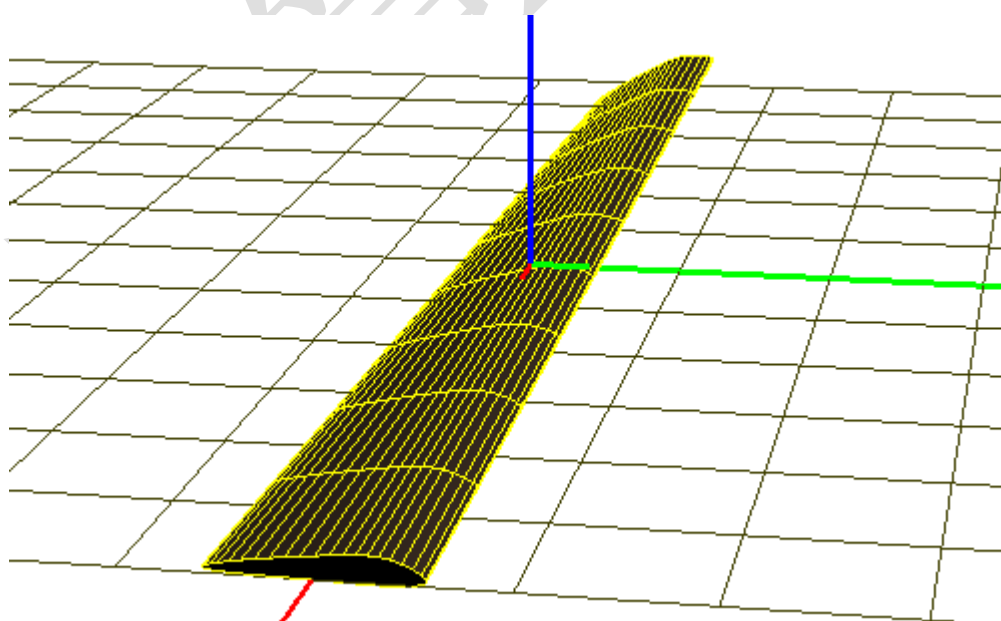
Parameters Colors GE position Material

Profile Axis curve

Type of curve: Straight line

Length: 6.000

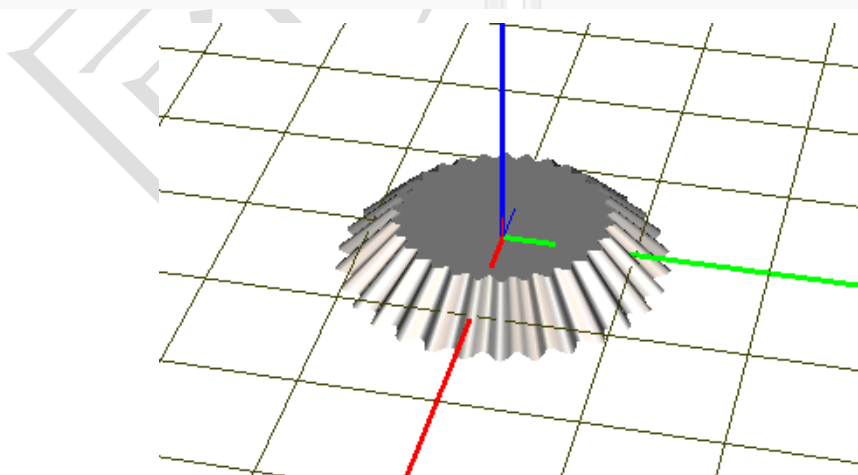
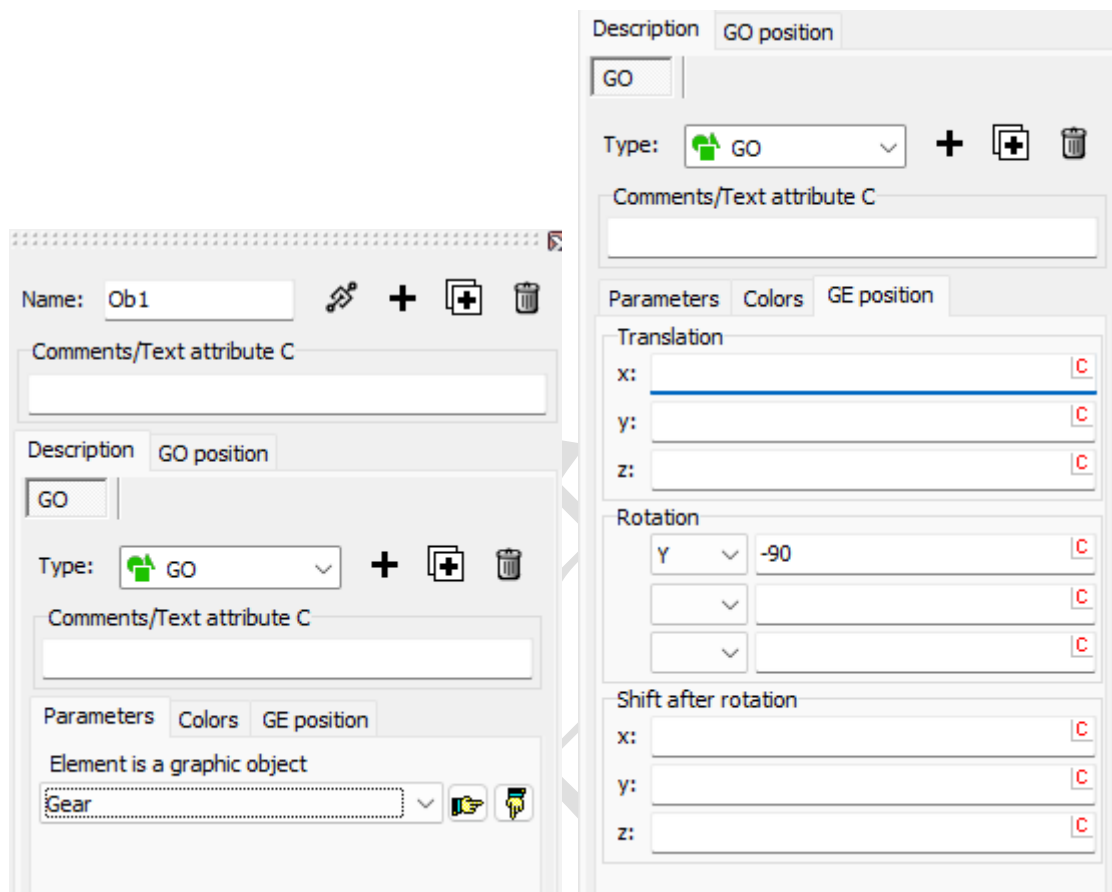
Number of points: 10

☐ Reverse normal on ends
☐ Do not rotate about the tangent


Ob1: 由一个 GO (灰色), 一个 Cone (灰色), 一个 Profiled (灰色), 两个 GO (蓝色) 组成。

GO1 Parameters: 从下拉列表中选择 Gear。

GE position: Rotation: 绕 Y 轴旋转-90(°)。



Cone Parameters: $R_2=R_1=0.15(m)$, $h=3(m)$

Name:

Comments/Text attribute C

Description

GO

Type: Cone

Comments/Text attribute C

Parameters Colors GE position Material

Radius (R2):

Radius (R1):

Height (h):

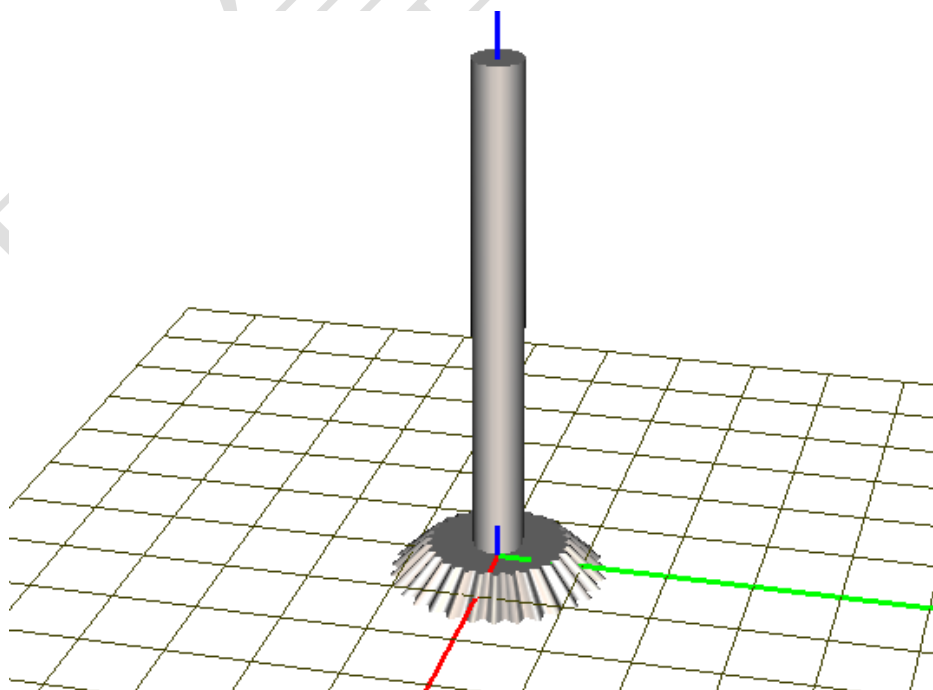
Number of points

Bottom circle:

Generatrix:

Angles:

Closing:



Profiled Parameters:

Profile: Type of section: Curve 2D; Scale X=1, Scale Y=1;

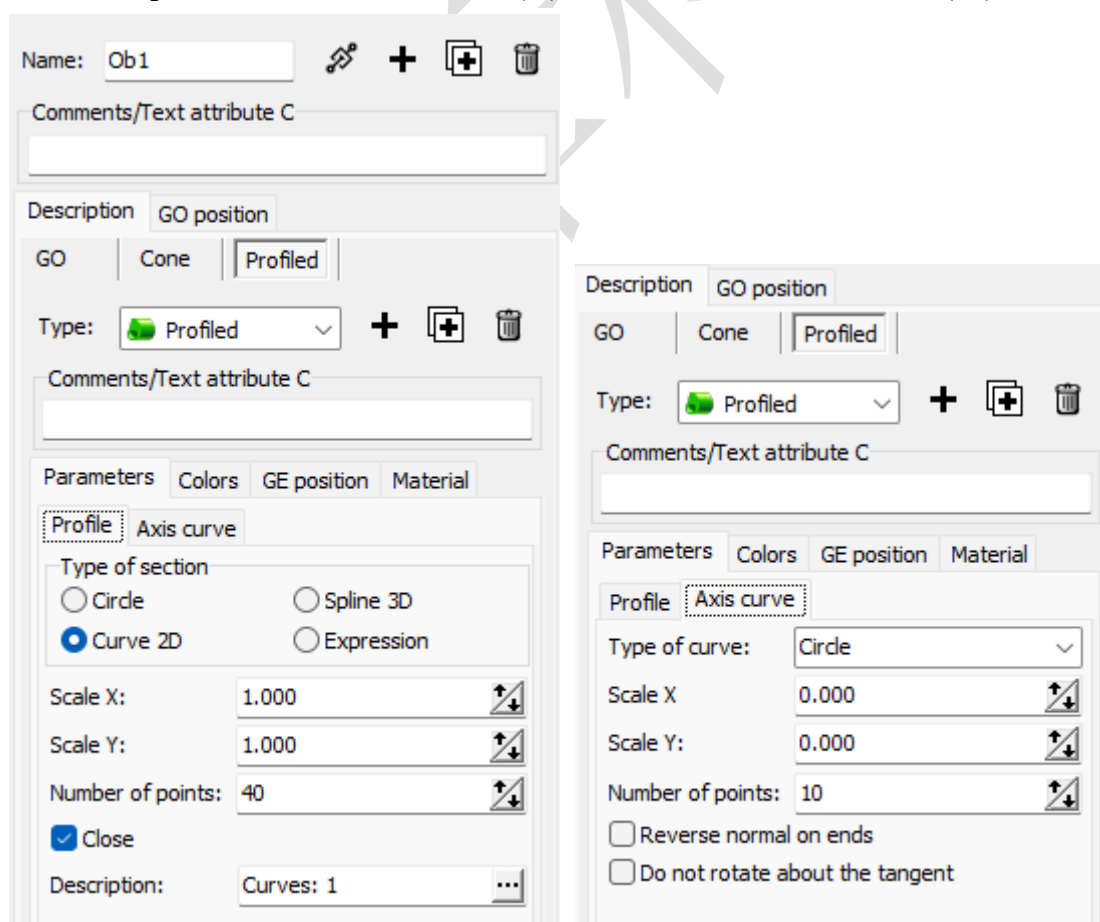
勾选 Close, 点击 Description 右侧  图标, 创建截面曲线, 坐标如下表:

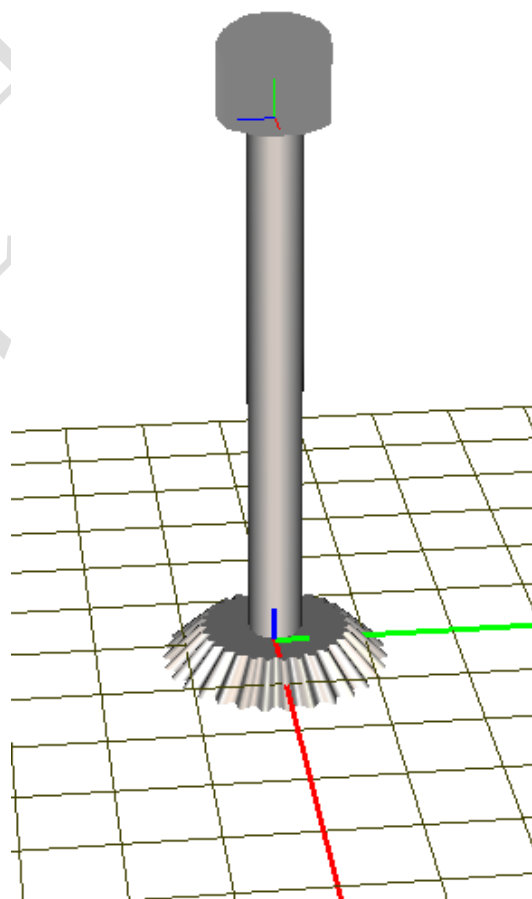
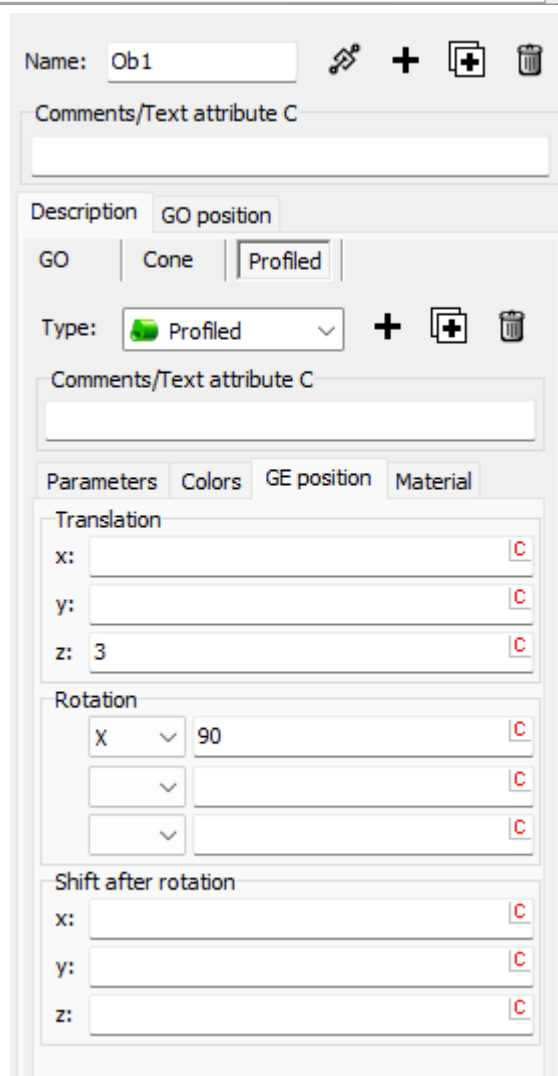
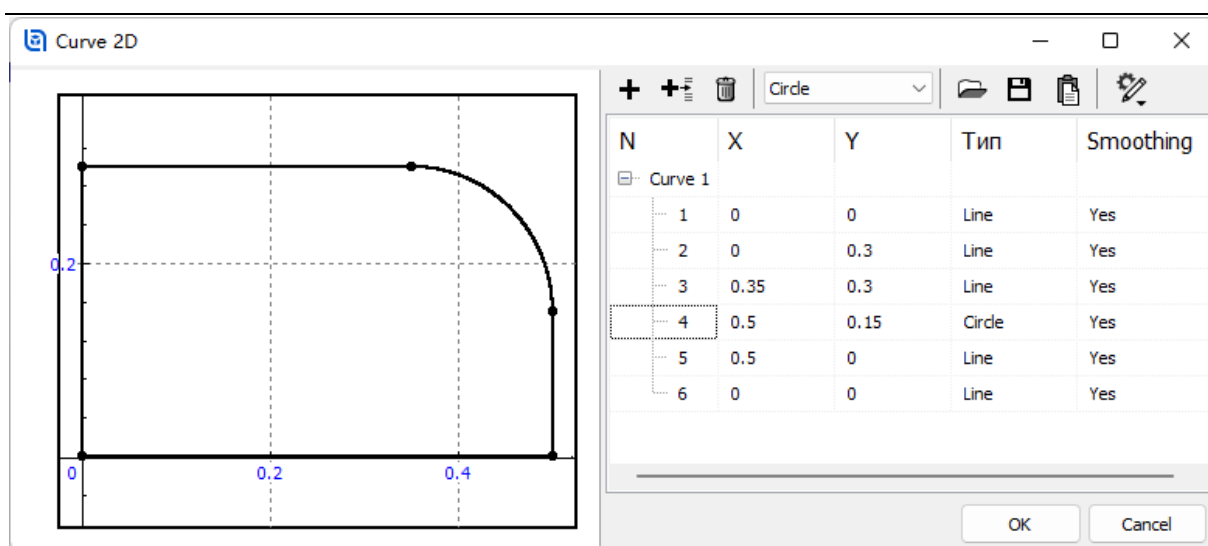
序号	X	Y
1	0	0
2	0	0.3
3	0.35	0.3
4	0.5	0.15
5	0.5	0
6	0	0

选中点 4, 修改拟合方式为 Circle。

Axis curve: Type of curve: Circle, Scale X=0, Scale Y=0。

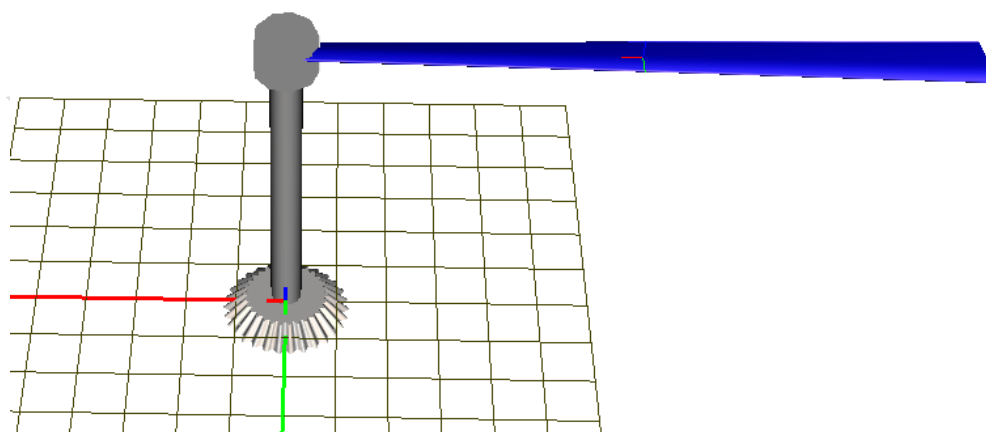
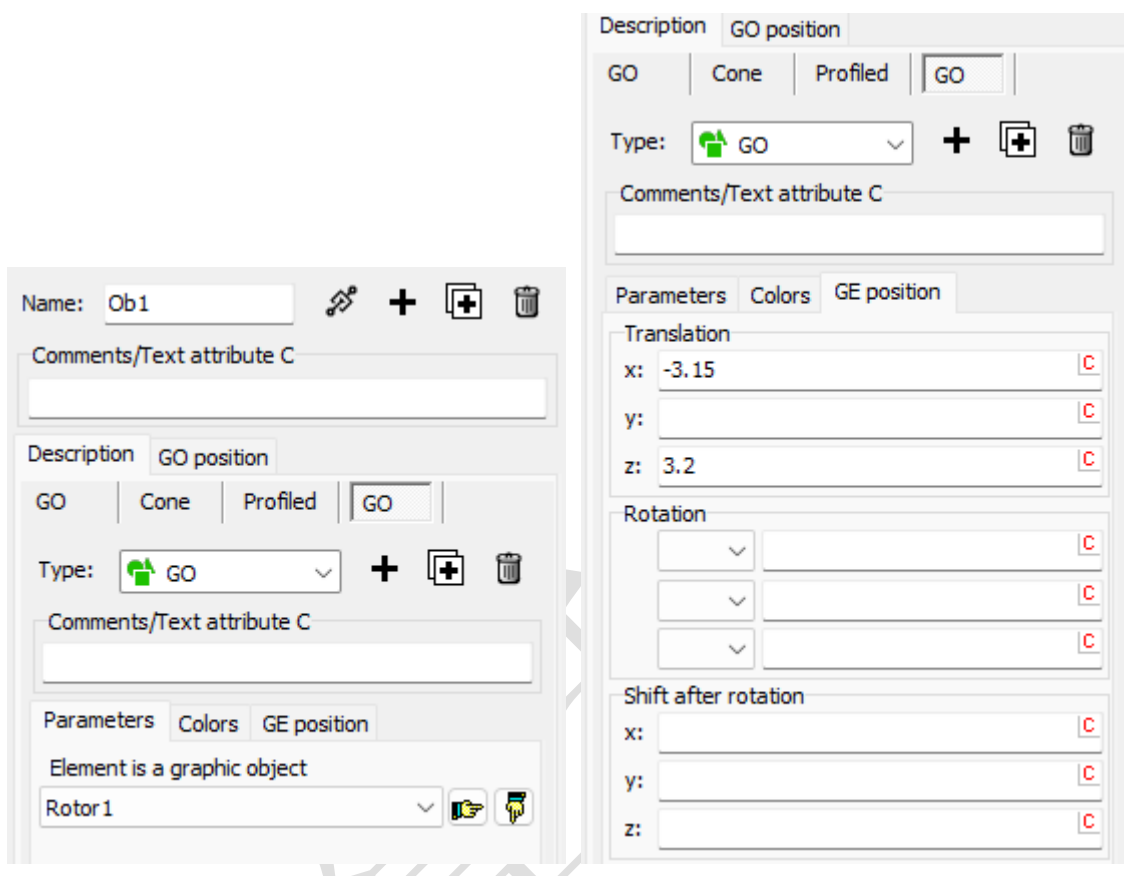
GE position: Translation: $z=3(\text{m})$, Rotation: 绕 X 轴旋转 $90(^{\circ})$ 。





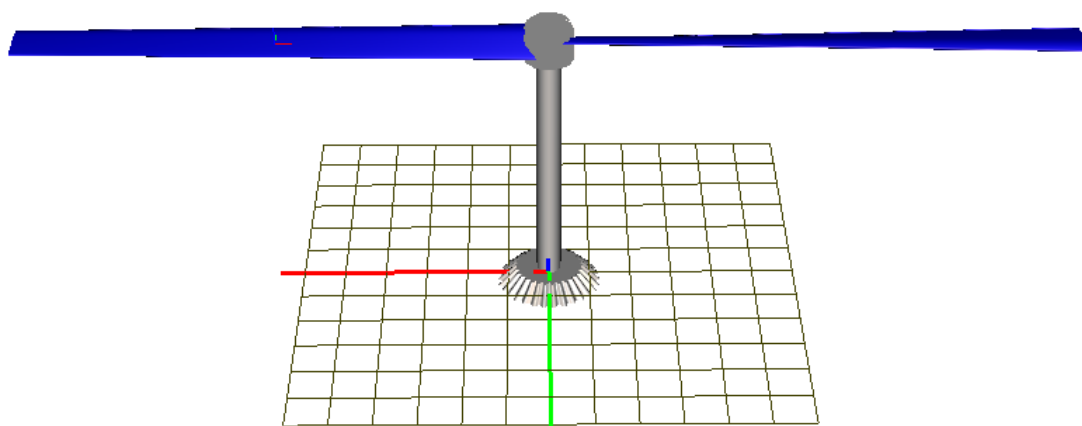
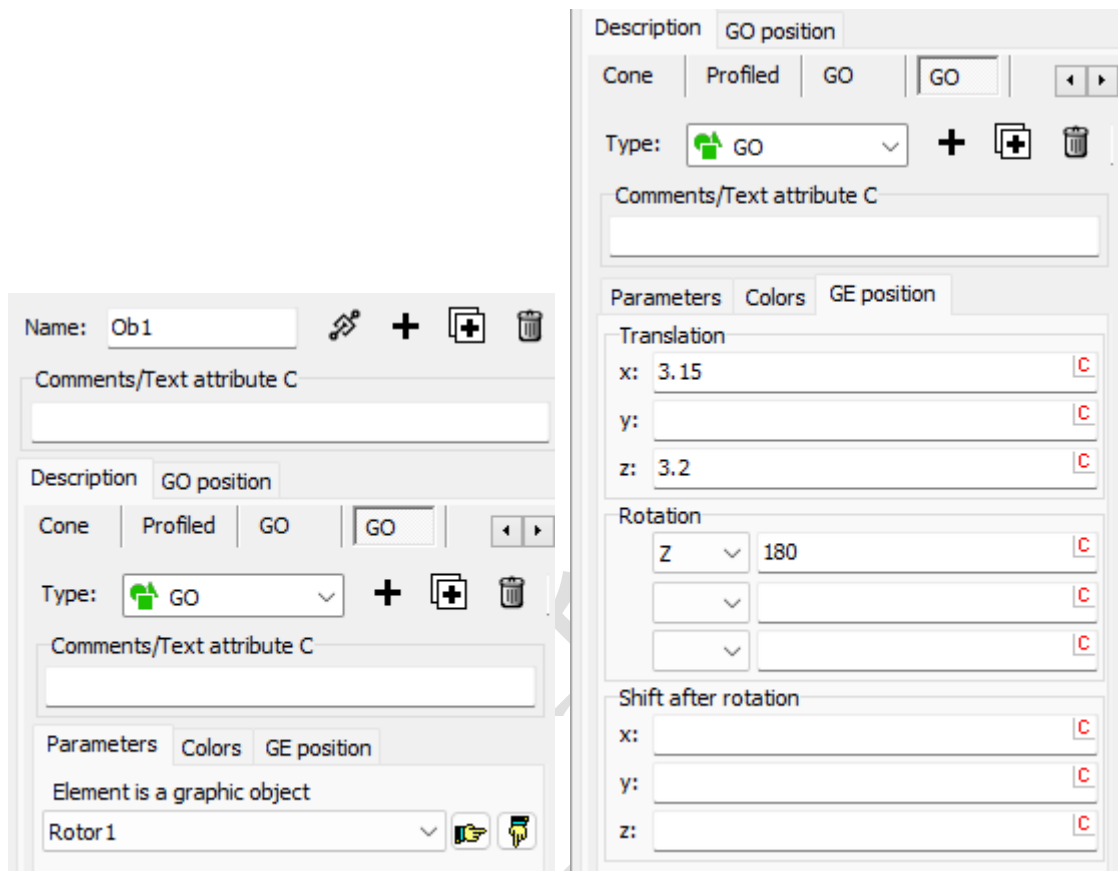
GO2 Parameters: 选择 Rotor1。

GE position: Translation: $x=-3.15(m)$, $z=3.2(m)$ 。



GO3 Parameters: 选择 Rotor1。

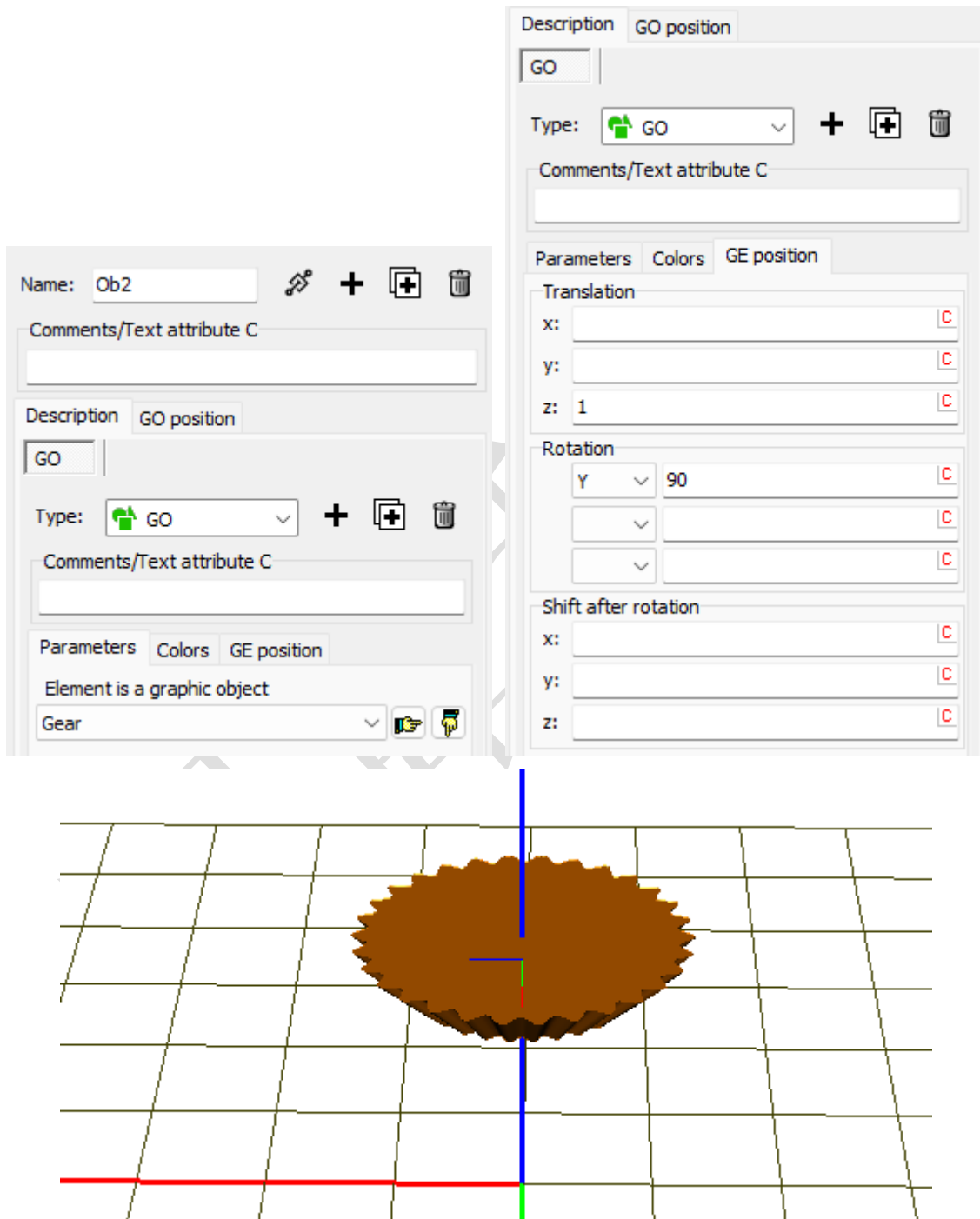
GE position: Translation: $x=3.15(m)$, $z=3.2(m)$, Rotation: 绕 Z 轴旋转 $180(^{\circ})$ 。



Ob2: 由一个 GO (橙色), 一个 Profiled (橙色), 两个 GO (绿色) 组成。

GO1 Parameters: 选择 Gear。

GE position: Translation: $z=1(m)$, Rotation: 绕 Y 轴旋转 $90(^{\circ})$ 。



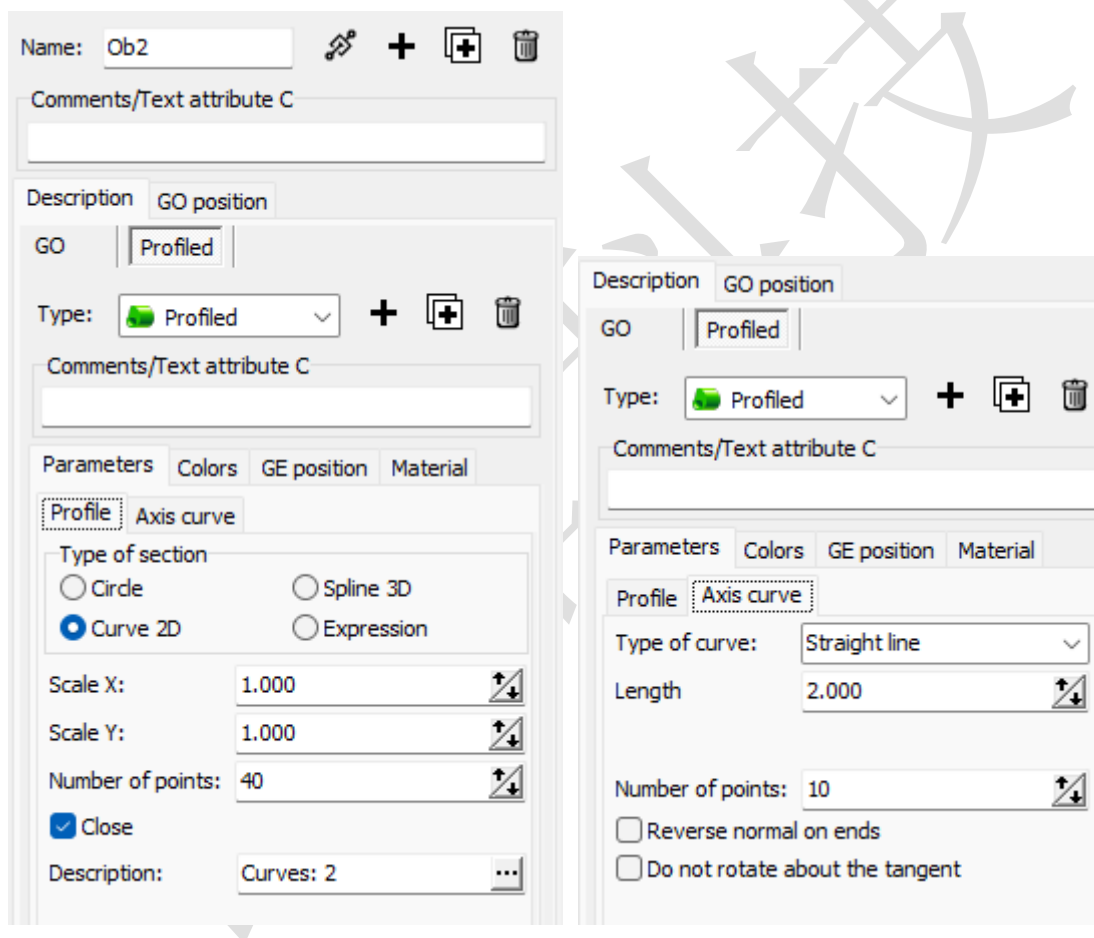
Profiled Parameters:

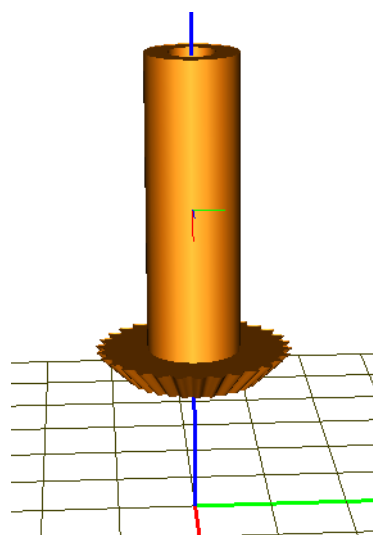
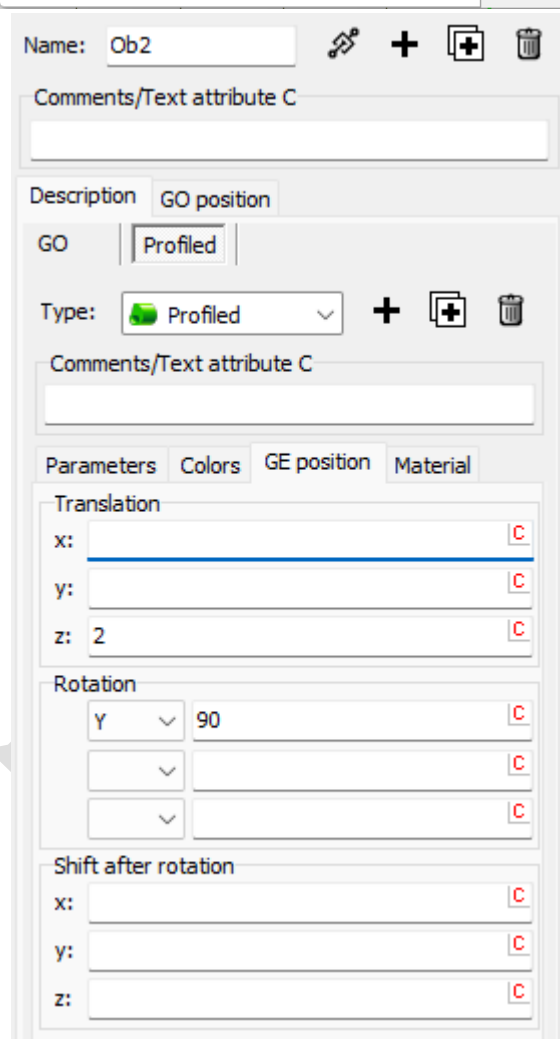
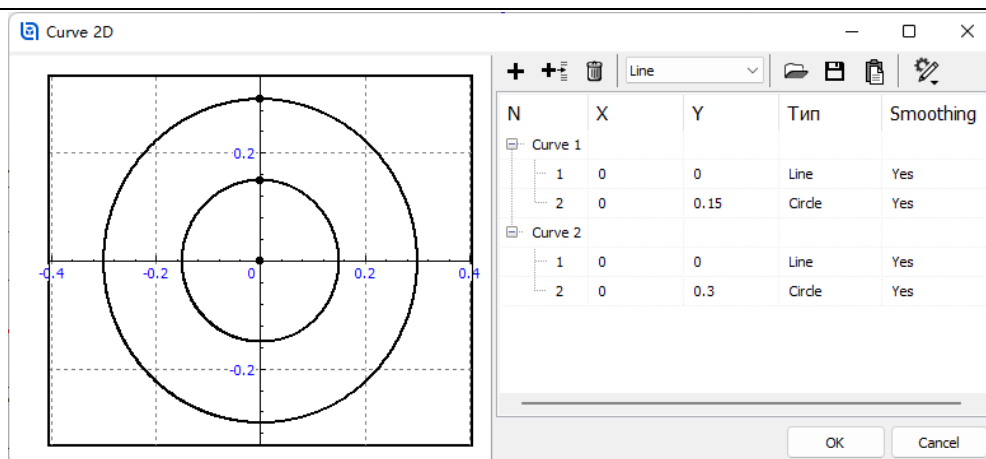
Profile: Type of section: Curve 2D; Scale X=1, Scale Y=1;

勾选 Close, 点击 Description 右侧  图标, 创建截面曲线。通过点 (0, 0) 和 (0, 0.15) 定义一个圆 (Curve1), 通过点 (0, 0) 和 (0, 0.3) 定义另一个圆 (Curve2)。

Axis curve: Type of curve: Straight line, Length=2(m)。

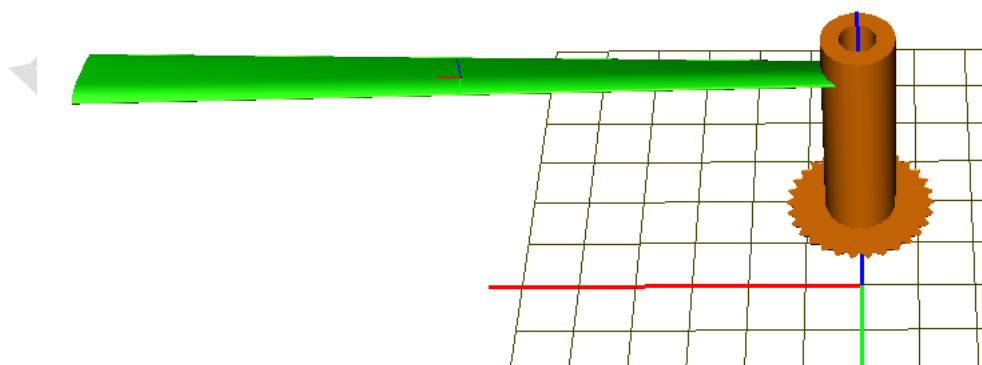
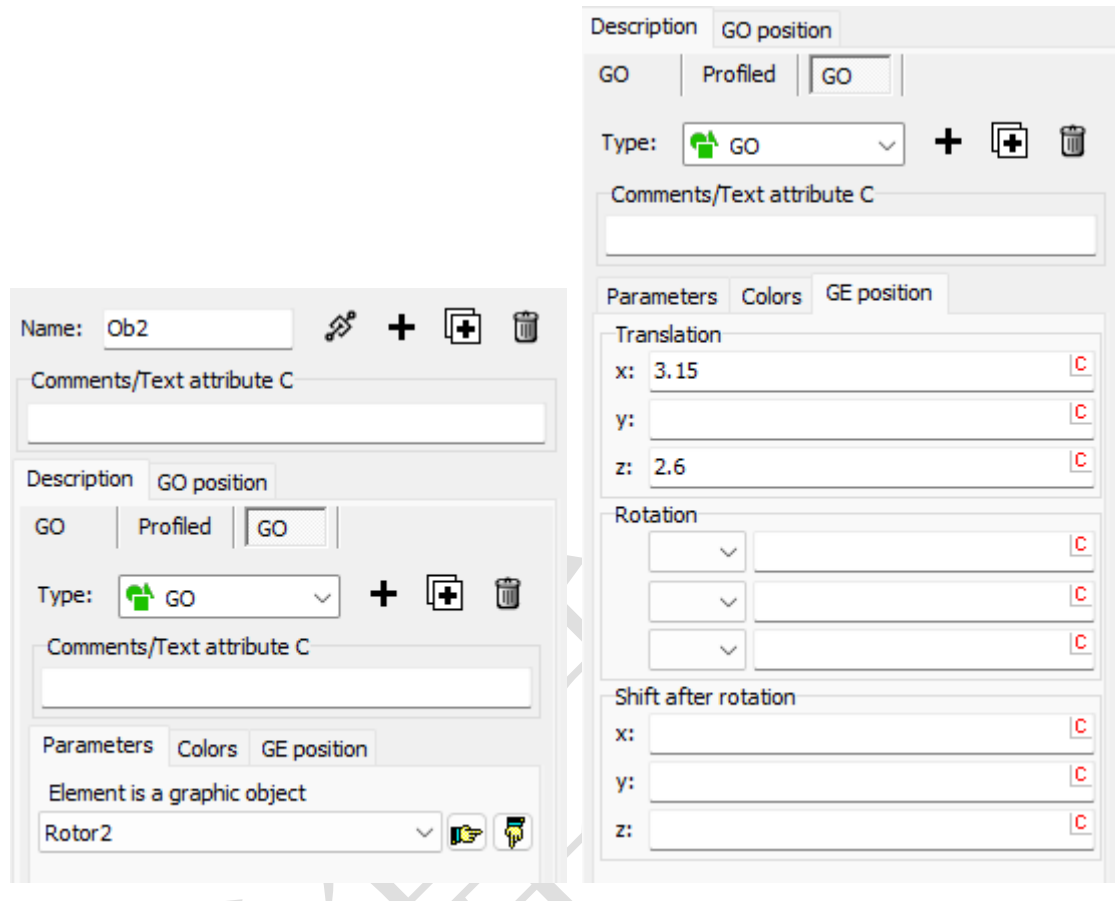
GE position: Translation: $z=2(m)$, Rotation: 绕 Y 轴旋转 $90(^{\circ})$ 。





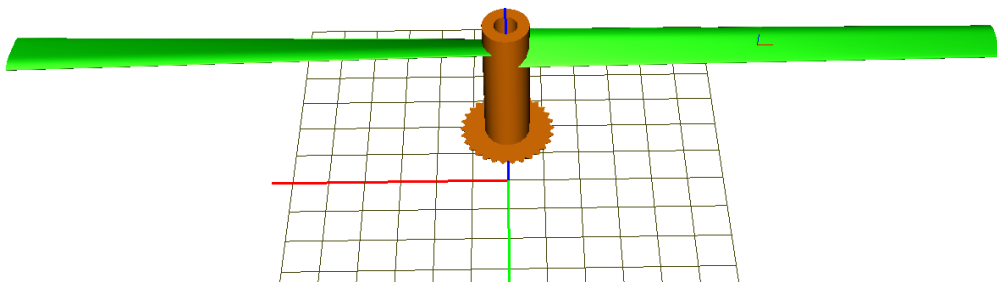
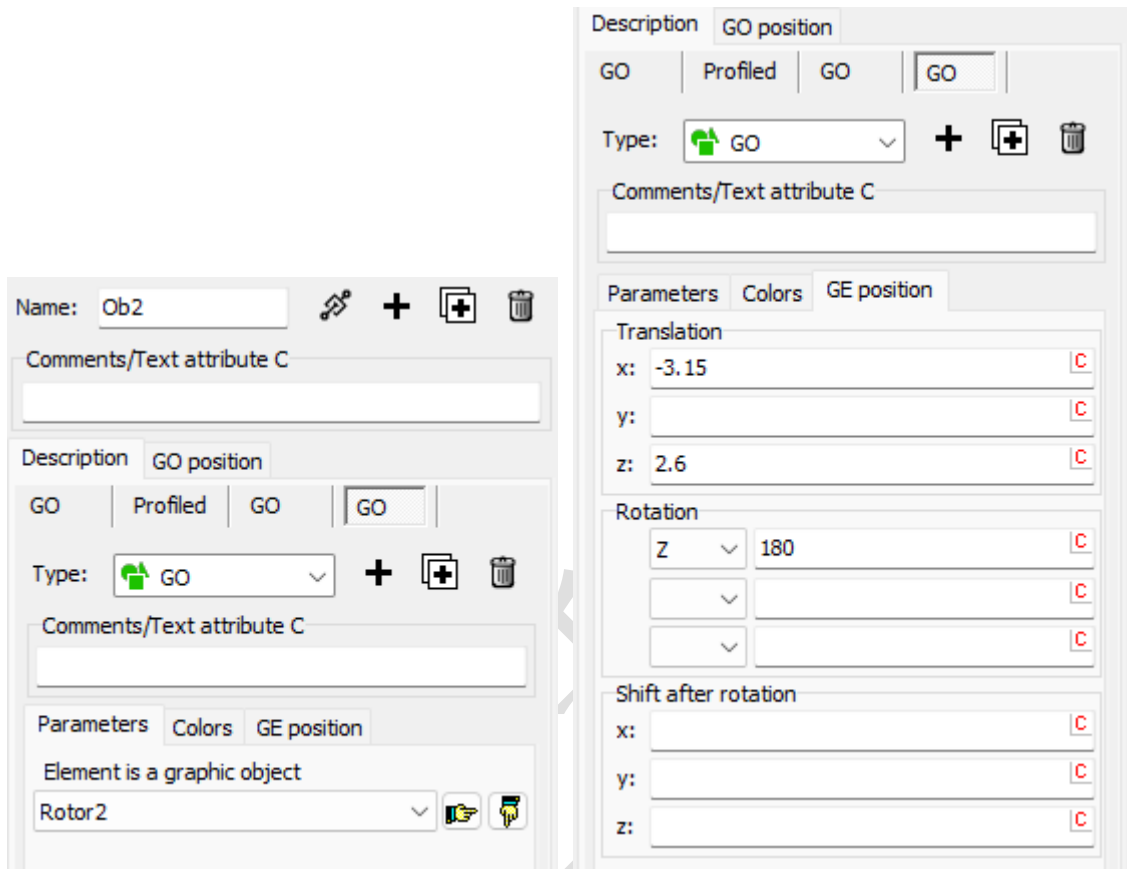
GO2 Parameters: 选择 Rotor2。

GE position: Translation: $x=3.15(m)$, $z=2.6(m)$ 。



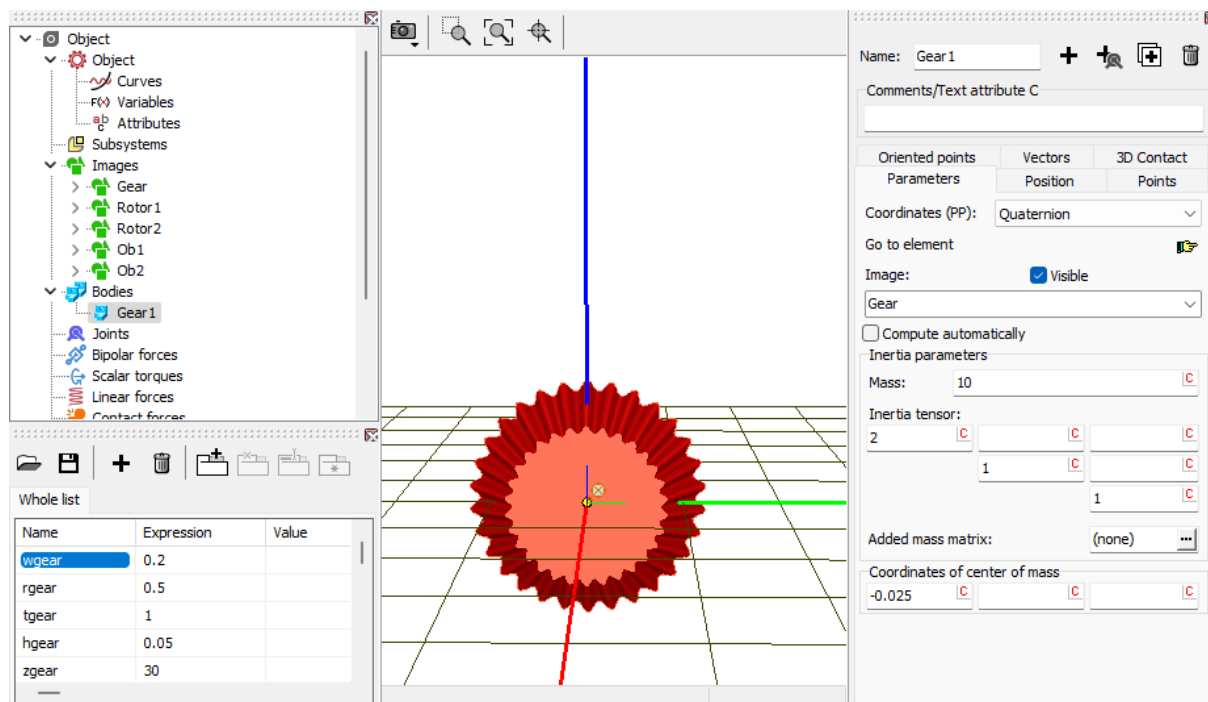
GO3 Parameters: 选择 Rotor2。

GE position: Translation: $x=-3.15(m)$, $z=2.6(m)$, Rotation: 绕 Z 轴旋转 $180(^{\circ})$ 。

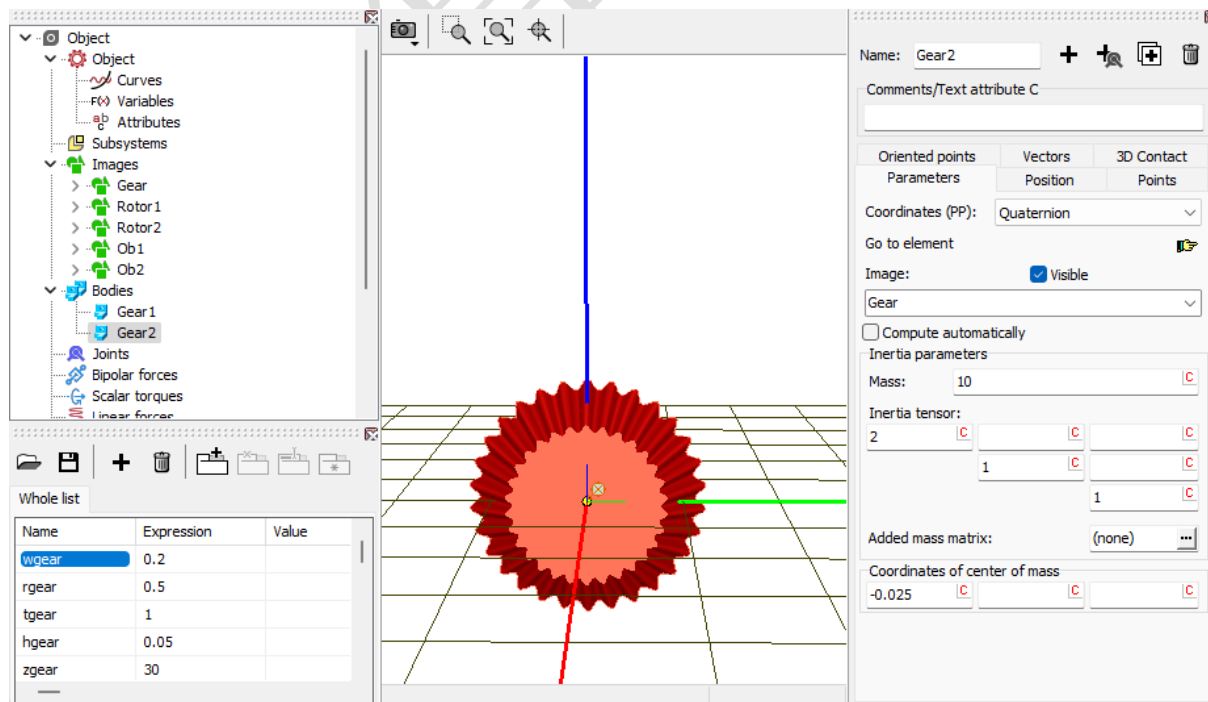


1.2 定义刚体参数

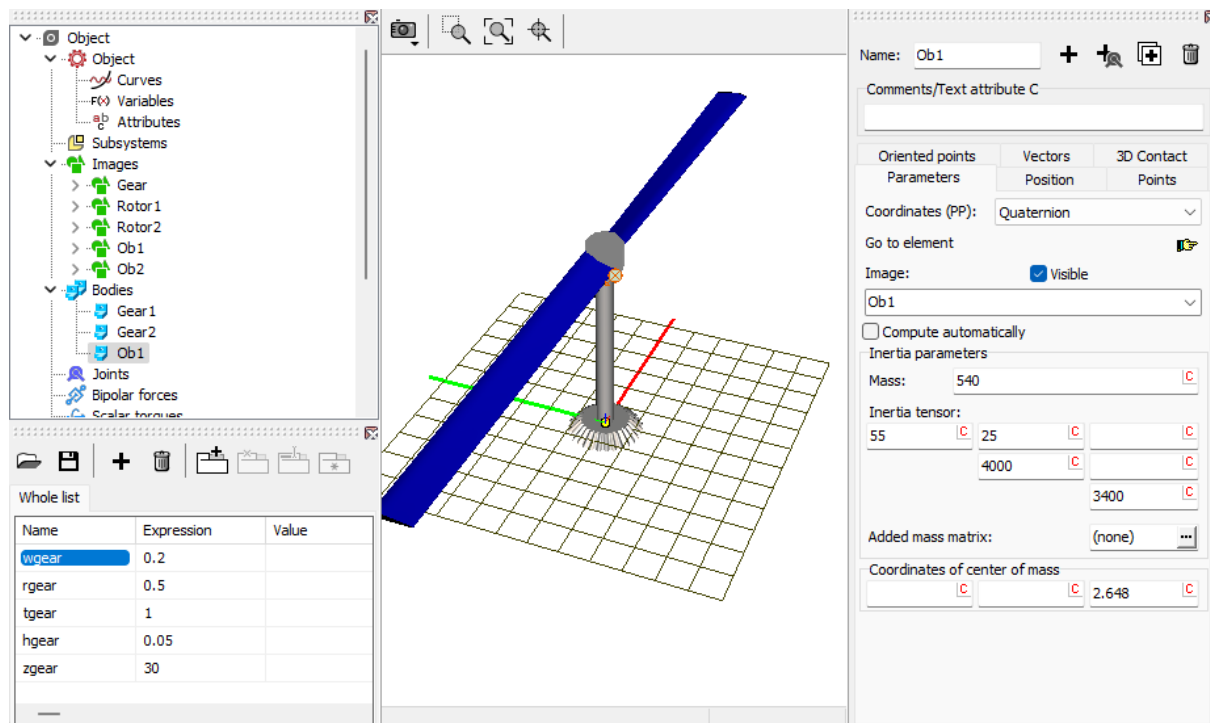
Gear1: 选择几何 **Gear**, 定义 $Mass=10(\text{kg})$, $I_x=2(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$, $I_y=1(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$, $I_z=1(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$, 质心坐标为 $(-0.025, 0, 0)$ 。



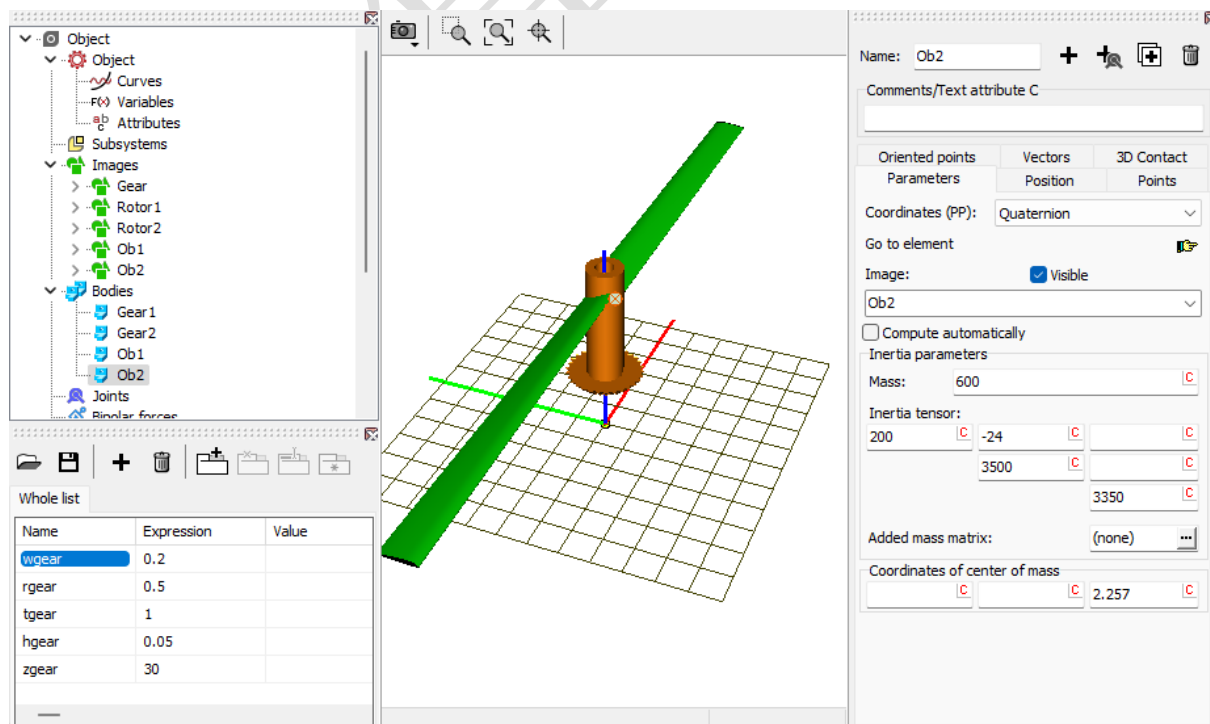
Gear2: 复制 **Gear1** 保持参数不变。



Ob1: 选择几何 **Ob1**, 定义 $Mass=540(\text{kg})$, $I_x=55(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$, $I_{xy}=25(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$, $I_y=4000(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$, $I_z=3400(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$, 质心坐标为 $(0, 0, 2.648)$ 。



Ob2: 选择几何 **Ob2**, 定义 $Mass=600(\text{kg})$, $I_x=200(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$, $I_{xy}=-24(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$, $I_y=3500(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$, $I_z=3350(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$, 质心坐标为 $(0, 0, 2.257)$ 。

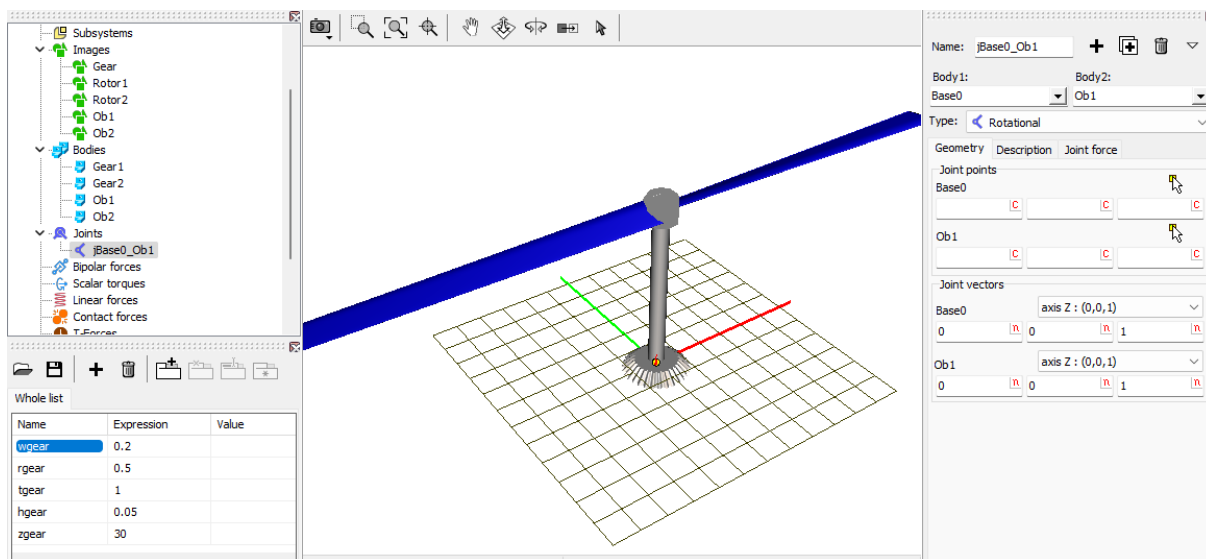


1.3 描述铰

jBase0_Ob1: 选择 **Base0** 作为铰的 1 号物体, **Ob1** 为 2 号物体, 类型为 Rotational。

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

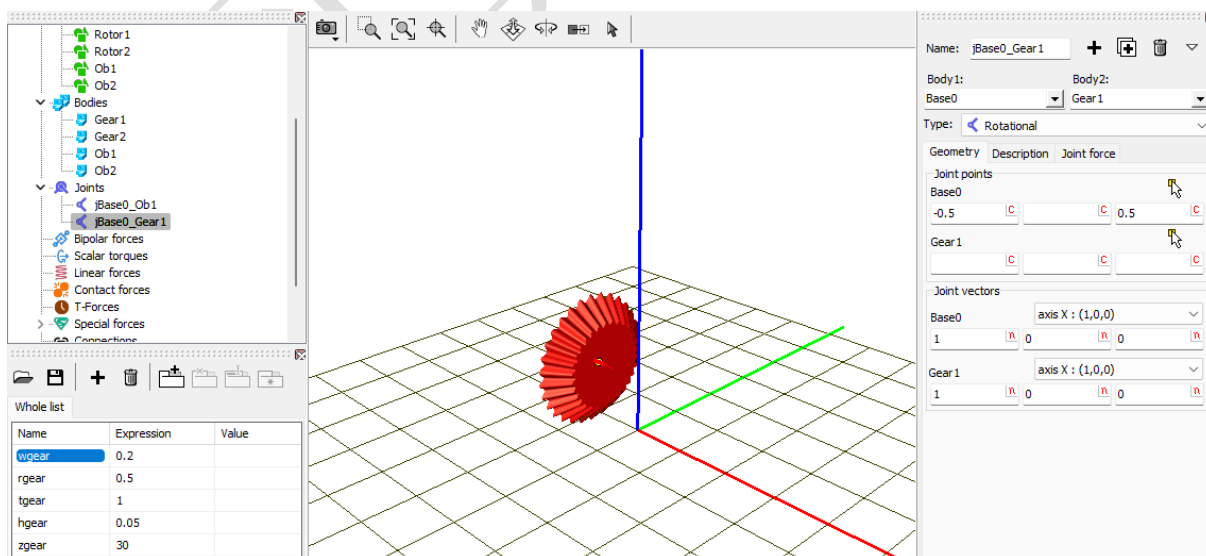
Joint Vectors $(0, 0, 1)$ 和 $(0, 0, 1)$ 。



jBase0_Gear1: 选择 **Base0** 作为铰的 1 号物体, **Gear1** 为 2 号物体, 类型为 Rotational。

Joint points $(-0.5, 0, 0.5)$ 和 $(0, 0, 0)$;

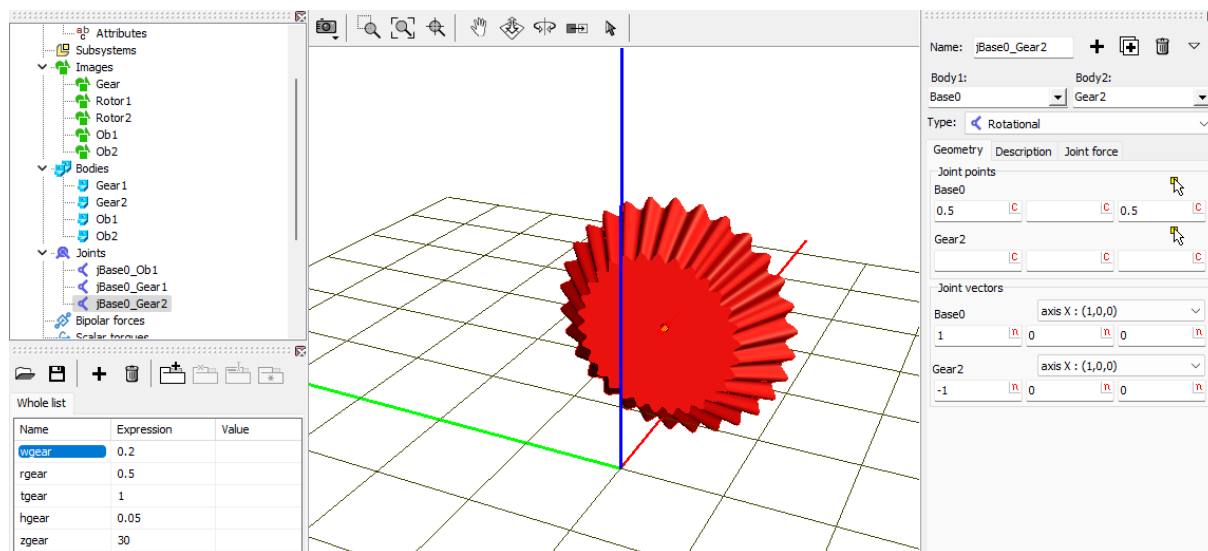
Joint Vectors $(1, 0, 0)$ 和 $(1, 0, 0)$ 。



jBase0_Gear2: 选择 **Base0** 作为铰的 1 号物体，**Gear2** 为 2 号物体，类型为 Rotational。

Joint points $(0.5, 0, 0.5)$ 和 $(0, 0, 0)$;

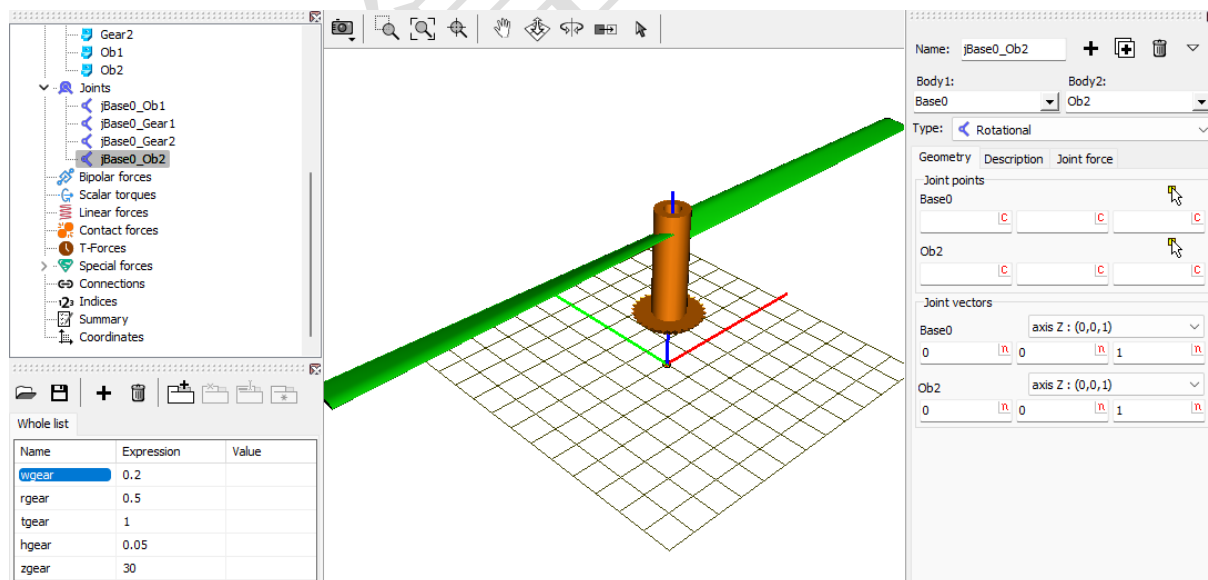
Joint Vectors $(1, 0, 0)$ 和 $(-1, 0, 0)$ 。



jBase0_Ob2: 选择 **Base0** 作为铰的 1 号物体，**Ob2** 为 2 号物体，类型为 Rotational。

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

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



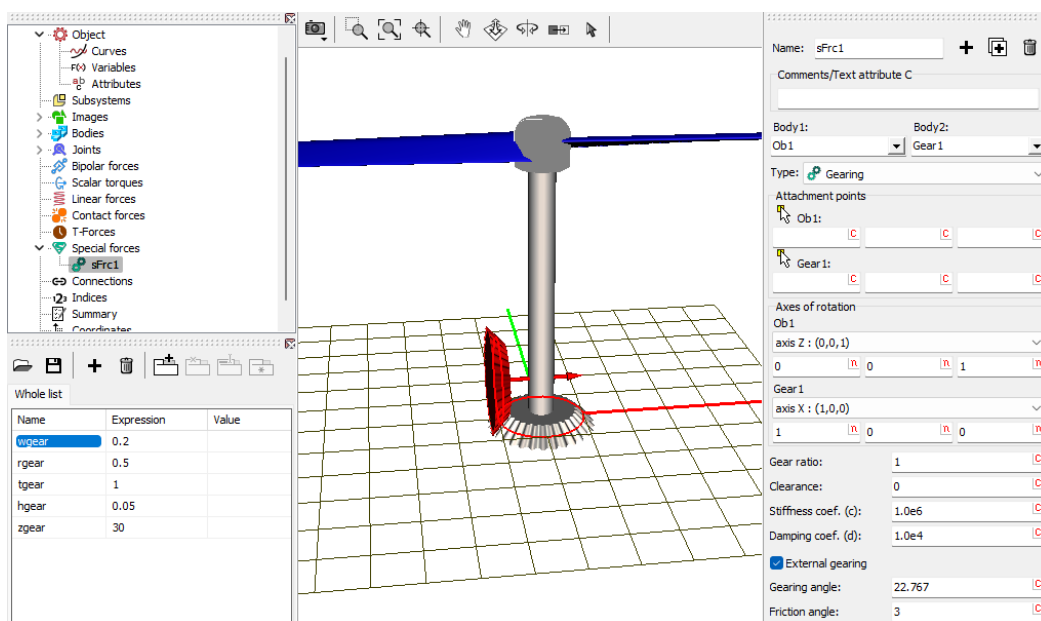
1.4 添加力元

本例一共需要添加 4 个齿轮力元（Special force-Gearing）。

sFrc1: 选择 **Ob1** 作为力元的 1 号物体，**Gear1** 为 2 号物体，类型为 Gearing。

Attachment points (0, 0, 0) 和 (0, 0, 0);

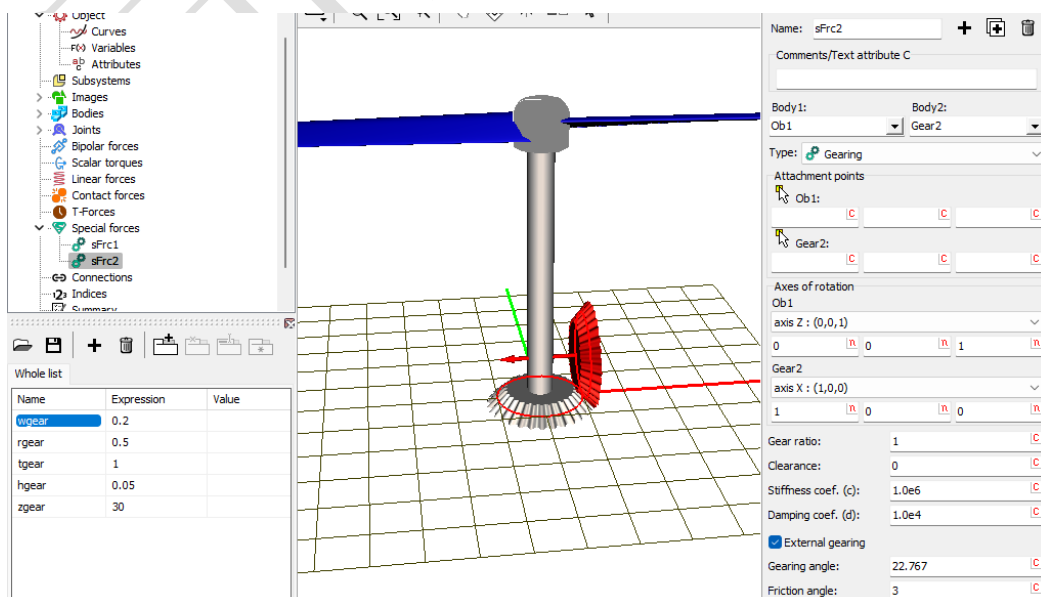
Axes of rotation (0, 0, 1) 和 (1, 0, 0)。



sFrc2: 选择 **Ob1** 作为力元的 1 号物体，**Gear2** 为 2 号物体，类型为 Gearing。

Attachment points (0, 0, 0) 和 (0, 0, 0);

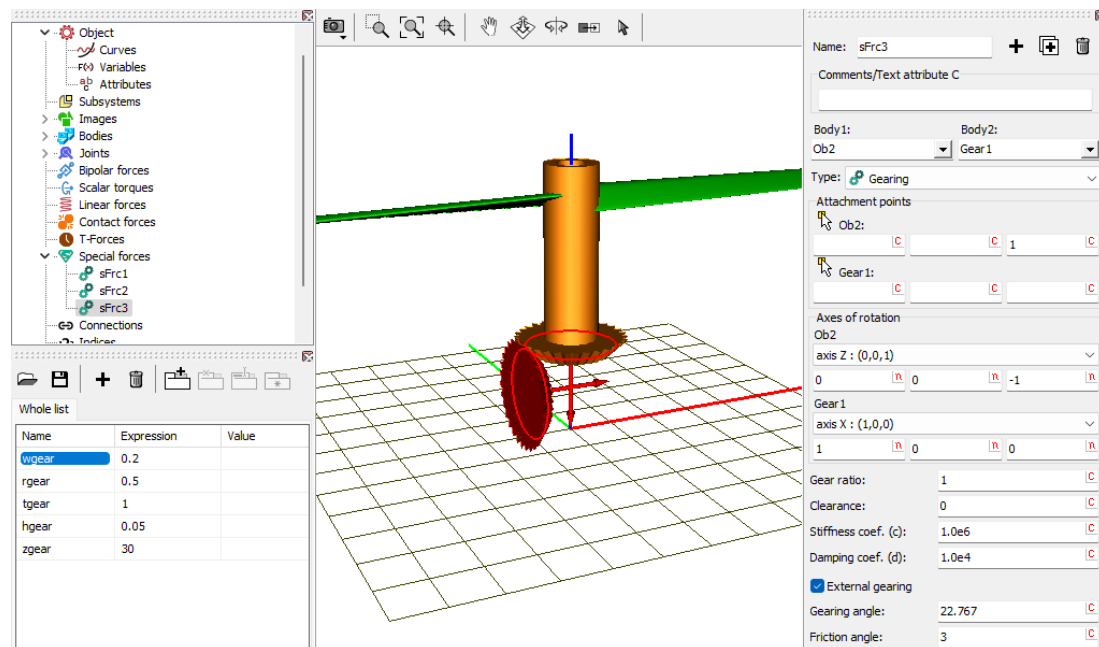
Axes of rotation (0, 0, 1) 和 (1, 0, 0)。



sFrc3: 选择 **Ob2** 作为力元的 1 号物体, **Gear1** 为 2 号物体, 类型为 Gearing。

Attachment points (0, 0, 1) 和 (0, 0, 0);

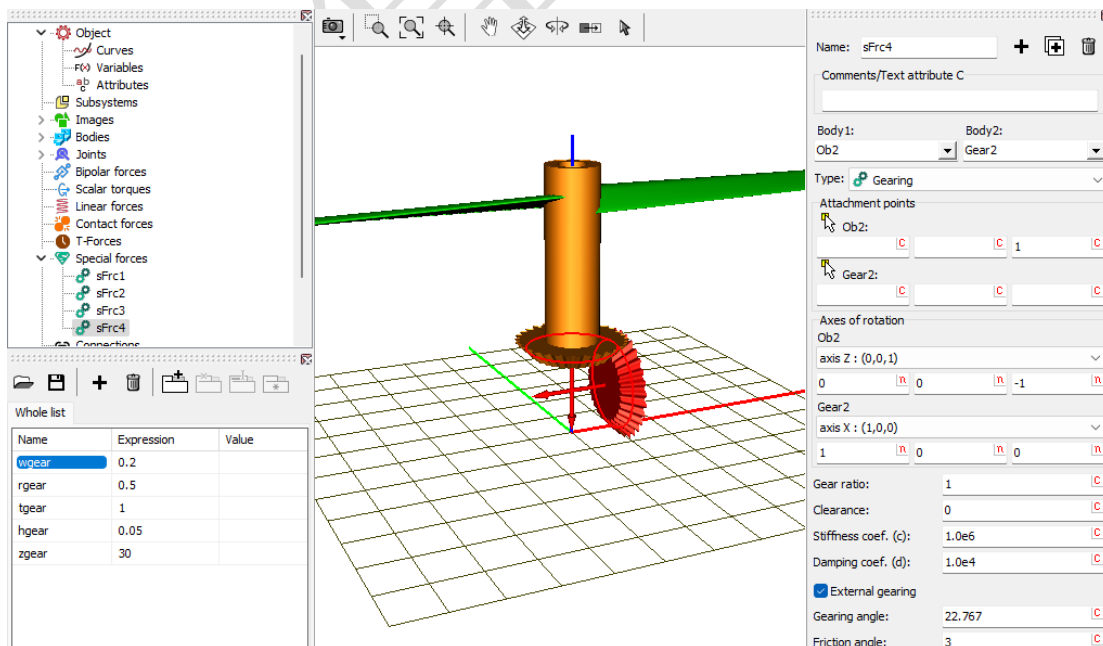
Axes of rotation (0, 0, -1) 和 (1, 0, 0)。



sFrc4: 选择 **Ob2** 作为力元的 1 号物体, **Gear2** 为 2 号物体, 类型为 Gearing。

Attachment points (0, 0, 1) 和 (0, 0, 0);

Axes of rotation (0, 0, -1) 和 (1, 0, 0)。



建模完成, 保存模型。

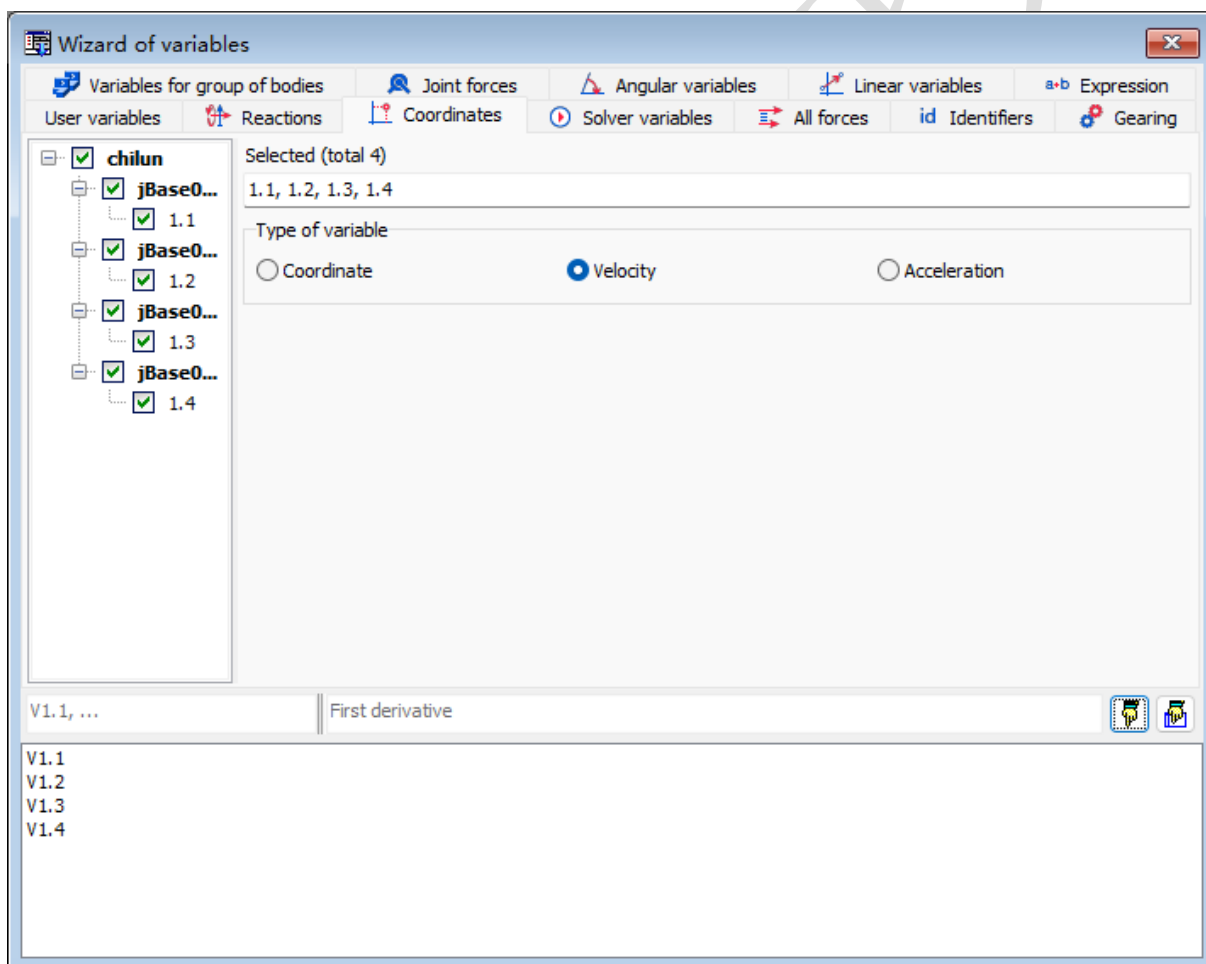
2 UM Simulation 仿真过程

2.1 设置初始约束条件

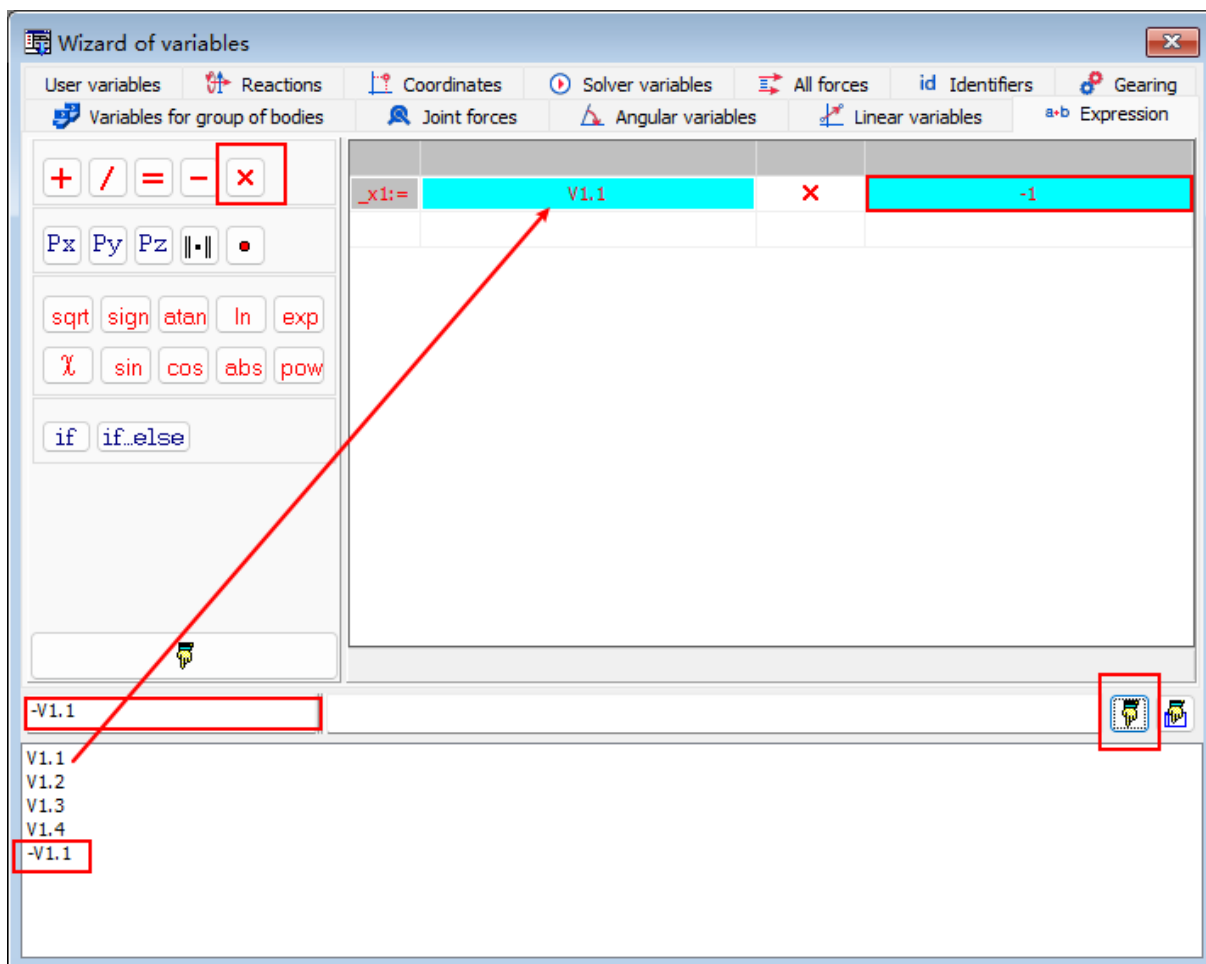
运行 UM Simulation 程序，加载模型（最好关闭 UM Input 程序），设置动画窗口背景颜色为灰色。

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，但此时无法直接修改 Velocity 的值。

打开变量向导，从 Coordinates 界面创建四个铰的速度变量，如下图：

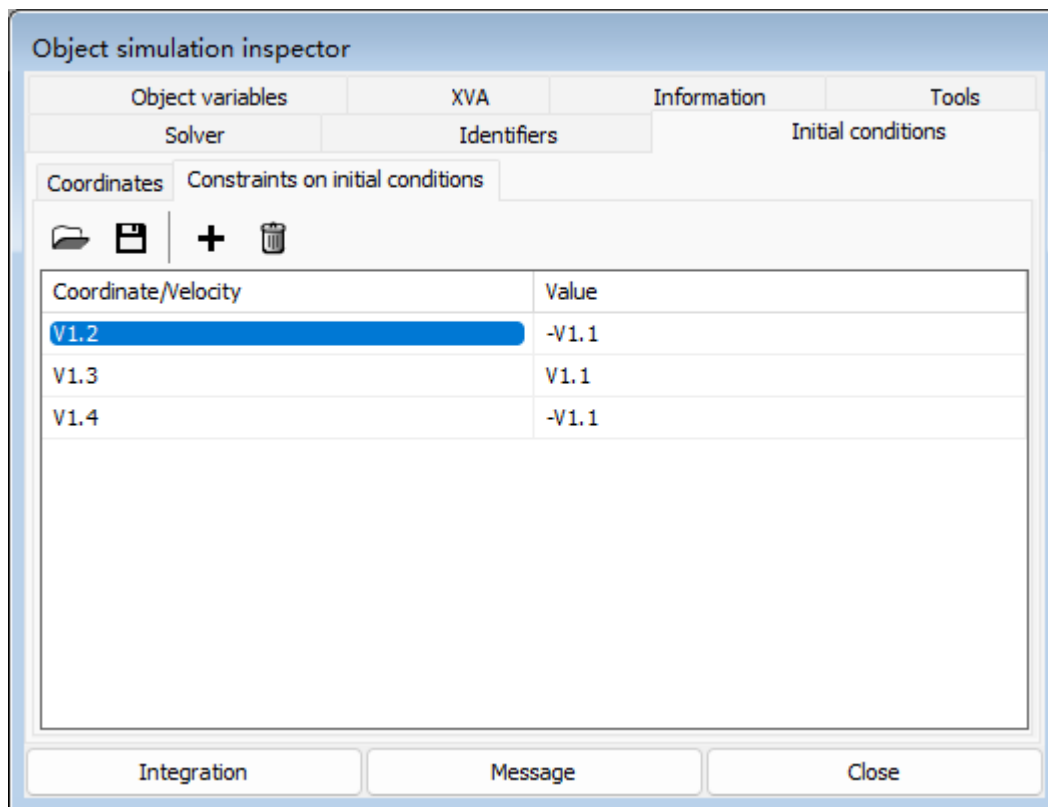


转到 Expression 页面，点击 $\times$ 按钮，添加一个乘法运算，将变量 V1.1 拖入第一个乘数框，在第二个乘数框输入-1，修改 Expression 为-V1.1，即定义 $-V1.1 = V1.1 \times (-1)$ 。
点击右下  按钮创建变量-V1.1。



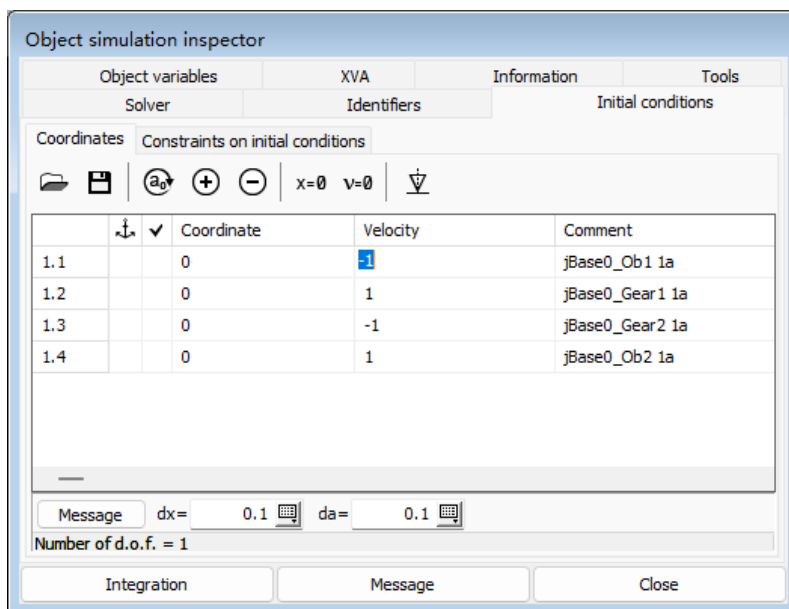
在仿真控制界面的 Initial conditions 页面点击 Constrains on initial conditions, 点击 **+** 按钮, 将变量拖入 Coordinate/Velocity 框和 Value 框。

分别定义 $V1.2 = -V1.1$, $V1.3 = V1.1$, $V1.4 = -V1.1$ 。



2.2 仿真计算

切换回 Coordinates，设置第一个铰的 Velocity 值为-1，系统会根据初始约束条件计算其余三个铰的初始速度。



仿真过程如下图:

