



多体系统动力学仿真

UM 软件强基训练系列教程

(11)

四川同算科技有限公司

2022 年 8 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。

本例模型路径：*C:\Users\Public\Documents\UM Software Lab\Universal Mechanism\9\SAMPLES\Automotive\Suspensions\Double Wishbone Suspension*

目录

1 双叉臂悬架建模	4
1.1 导入几何模型	4
1.2 定义刚体参数	6
1.3 定义标识符	8
1.4 描述铰	9
1.5 添加力元	20

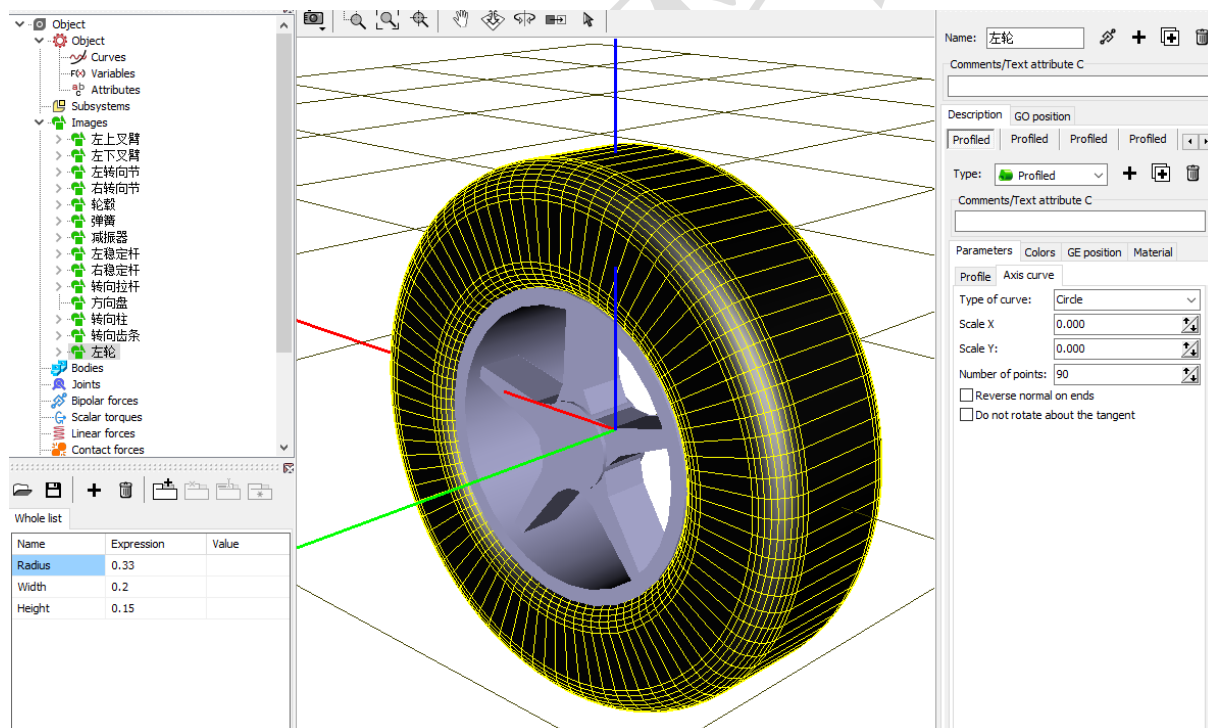
1 双叉臂悬架建模

1.1 导入几何模型

请先从同算科技网站 (www.tongsuan.cn) 资料下载页面下载本例模型素材 ([双叉臂悬架几何素材.zip](#))，然后解压缩。

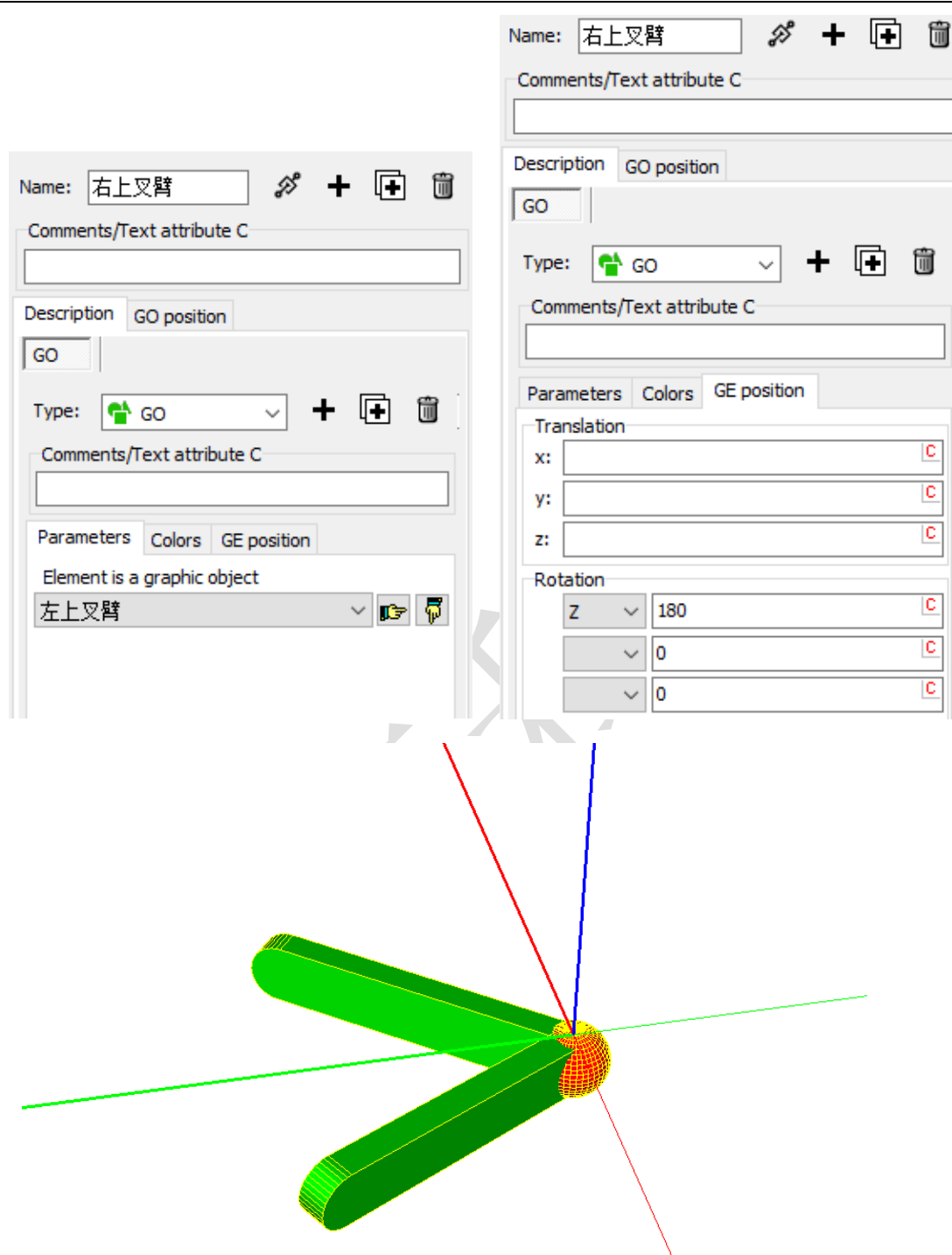
运行 **UM Input**，新建模型，依次导入左上叉臂、左下叉臂、左转向节、右转向节、轮毂、弹簧、减振器、左稳定杆、右稳定杆、转向拉杆、转向柱、转向齿条、左轮，共计 13 个几何模型。

这些几何模型全都是利用 **UM Input** 的建模工具搭建的，读者可以逐个点开学习建模方法。其中轮胎是参数化模型，读者可以尝试设置不同的参数(Radius, Width, Height)，观察轮胎尺寸的变化。



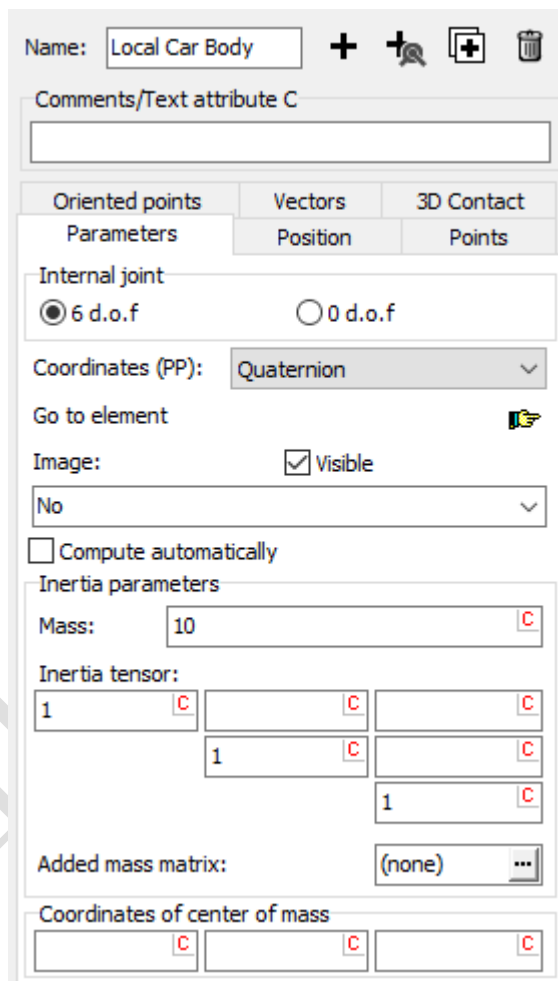
由于对称性，我们可以根据已有的三个几何模型（左上叉臂、左下叉臂、左轮）得到三个新的几何模型（右上叉臂、右下叉臂、右轮）。

以右上叉臂为例说明：添加一个几何图形，命名为右上叉臂，Type 一栏选择 **GO**，Parameters 下面选择左上叉臂，然后在 GE Position 处设置绕 Z 轴转动 180 (°)。



1.2 定义刚体参数

首先,我们来创建一个虚拟车体,请点击刚体页面的  按钮,命名为 **Local Car Body**,选择 6 d.o.f. Internal joint(内部六自由度铰),随意设置虚拟车体的质量和转动惯量。引入虚拟车体,便于定义上下叉臂的铰,当有外部其他物体(真实车体)与虚拟车体建立铰接时,在计算时虚拟车体会自动被去除。



Name: Local Car Body

Comments/Text attribute C

Oriented points Vectors 3D Contact

Parameters Position Points

Internal joint

☒ 6 d.o.f ☐ 0 d.o.f

Coordinates (PP): Quaternion

Go to element

Image: ☒ Visible

No

☐ Compute automatically

Inertia parameters

Mass: 10

Inertia tensor:

1		
	1	
		1

Added mass matrix: (none)

Coordinates of center of mass

--	--	--

然后依次创建刚体:左上叉臂、左下叉臂、右上叉臂、右下叉臂、左转向节、右转向节、左轮毂、右轮毂、左稳定杆、右稳定杆、转向柱、转向齿条、左轮和右轮,共 14 个。

分别赋予同名的几何图形，并按下表输入质量、转动惯量和质心坐标参数。

名称	质量	I_{xx}	I_{yy}	I_{zz}	质心
左上叉臂	14	0.06	0.06	0.12	(0, -0.114, 0)
左下叉臂	20	0.14	0.1	0.26	(0, -0.183, 0)
右上叉臂	14	0.06	0.06	0.12	(0, 0.114, 0)
右下叉臂	20	0.14	0.1	0.26	(0, 0.183, 0)
左转向节	4	0.06	0.06	0.02	(0.011, -0.006, 0.084)
右转向节	4	0.06	0.06	0.02	(0.011, 0.006, 0.084)
左轮毂	15	0.06	0.06	0.06	(0, 0, 0)
右轮毂	15	0.06	0.06	0.06	(0, 0, 0)
左稳定杆	4	0.24	0.48	0.3	(-0.282, -0.25, 0)
右稳定杆	4	0.24	0.48	0.3	(-0.282, 0.25, 0)
转向柱	10	0.115	0.304	0.304	(-0.323, 0, 0)
转向齿条	0.55	0.002	0.0001	0.0001	(0, 0, 0.007)
左轮	20	0.25	0.5	0.25	(0, 0, 0)
右轮	20	0.25	0.5	0.25	(0, 0, 0)

1.3 定义标识符

在界面左下方，按下表依次添加标识符及其表达式，以备参数化建模之用。

Name	Expression	Comment
Camber	0	外倾角，°
CamberRad	$\text{Camber} \cdot \pi / 180$	外倾角，rad
Toe	0	束角，°
ToeRad	$\text{Toe} \cdot \text{dtr}$	束角，rad
Mlongitudinalcontrol	0	纵向速度控制力矩，Nm
SteeringColumnAngle	30	转向柱倾角，°
cSteering	$5e4$	扭转刚度系数，Nm/rad
SteeringWheelAngle	0	方向盘转角，rad
dSteering	90	扭转阻尼系数，Nms/rad
dSteeringWheelAngle	0	方向盘转角变化率，rad/s
SpringPreload	0	弹簧预压力，N

Radius	0.33	
Width	0.2	
Height	0.15	
Camber	0	
CamberRad	$\text{Camber} \cdot \pi / 180$	0
Toe	0	
ToeRad	$\text{Toe} \cdot \text{dtr}$	0
Mlongitudinalcontrol	0	
SteeringColumnAngle	30	
cSteering	$5.0000000E+4$	
SteeringWheelAngle	0	
dSteering	90	
dSteeringWheelAngle	0	
SpringPreload	0	

注意：标识符 CamberRad 和 ToeRad 都是表达式的形式，分别引用了 Camber 和 Toe，故必须保证 Camber 在 CamberRad 之前创建，Toe 在 ToeRad 之前创建（可按下鼠标左键，上下拖动改变标识符的顺序）。

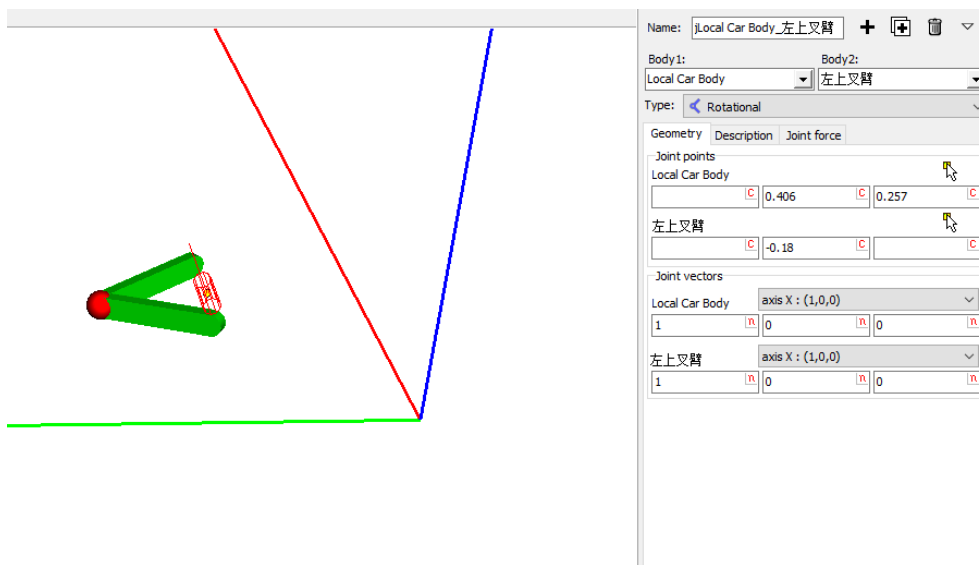
在 UM 中， $\text{dtr} = \pi / 180$ ， $\text{rtod} = 180 / \pi$ ，用于角度和弧度之间的转换。

1.4 描述铰

jLocal Car Body_左上叉臂: 选择 **Local Car Body** 作为铰的 1 号物体, 左上叉臂为 2 号物体, 类型为 **Rotational**。

Joint points (0, 0.406, 0.257) 和 (0, -0.18, 0);

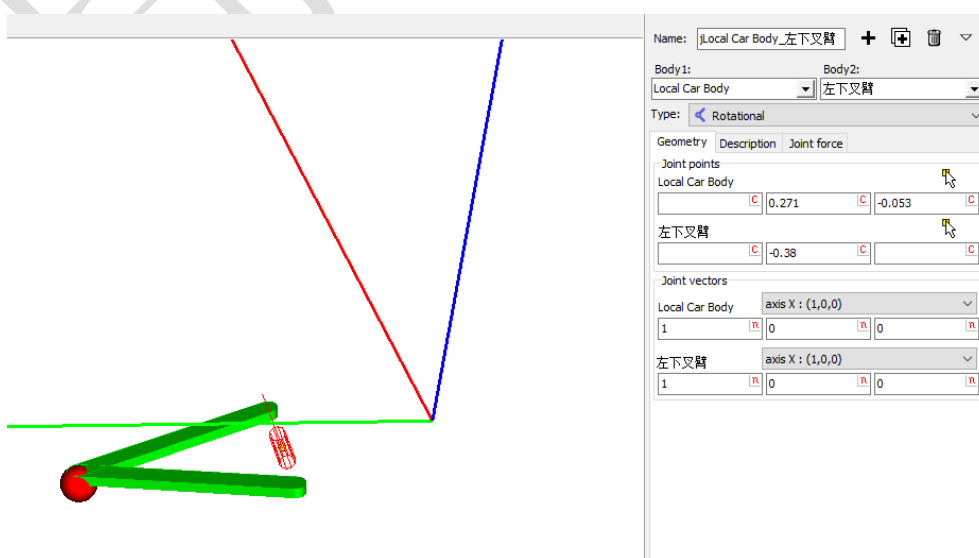
Joint vectors (1, 0, 0) 和 (1, 0, 0)。



jLocal Car Body_左下叉臂: 选择 **Local Car Body** 作为铰的 1 号物体, 左下叉臂为 2 号物体, 类型为 **Rotational**。

Joint points (0, 0.271, -0.053) 和 (0, -0.38, 0);

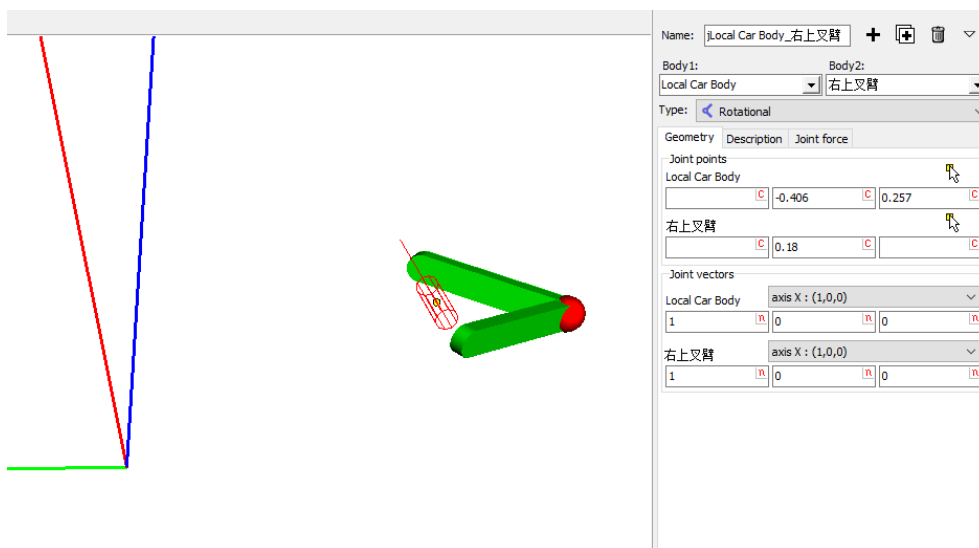
Joint vectors (1, 0, 0) 和 (1, 0, 0)。



jLocal Car Body_右上叉臂: 选择 **Local Car Body** 作为铰的 1 号物体, 右上叉臂为 2 号物体, 类型为 **Rotational**。

Joint points $(0, -0.406, 0.257)$ 和 $(0, 0.18, 0)$;

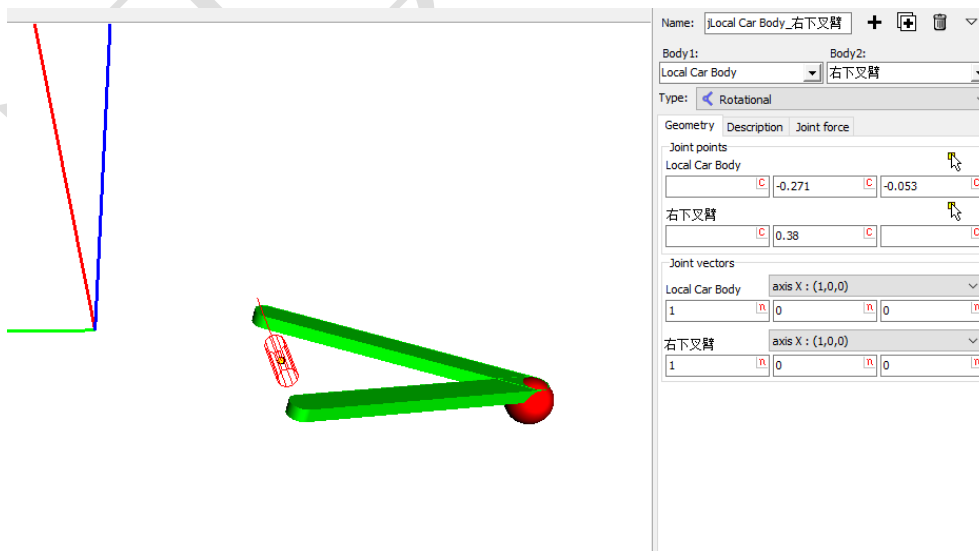
Joint vectors $(1, 0, 0)$ 和 $(1, 0, 0)$ 。



jLocal Car Body_右下叉臂: 选择 **Local Car Body** 作为铰的 1 号物体, 右下叉臂为 2 号物体, 类型为 **Rotational**。

Joint points $(0, -0.271, -0.053)$ 和 $(0, 0.38, 0)$;

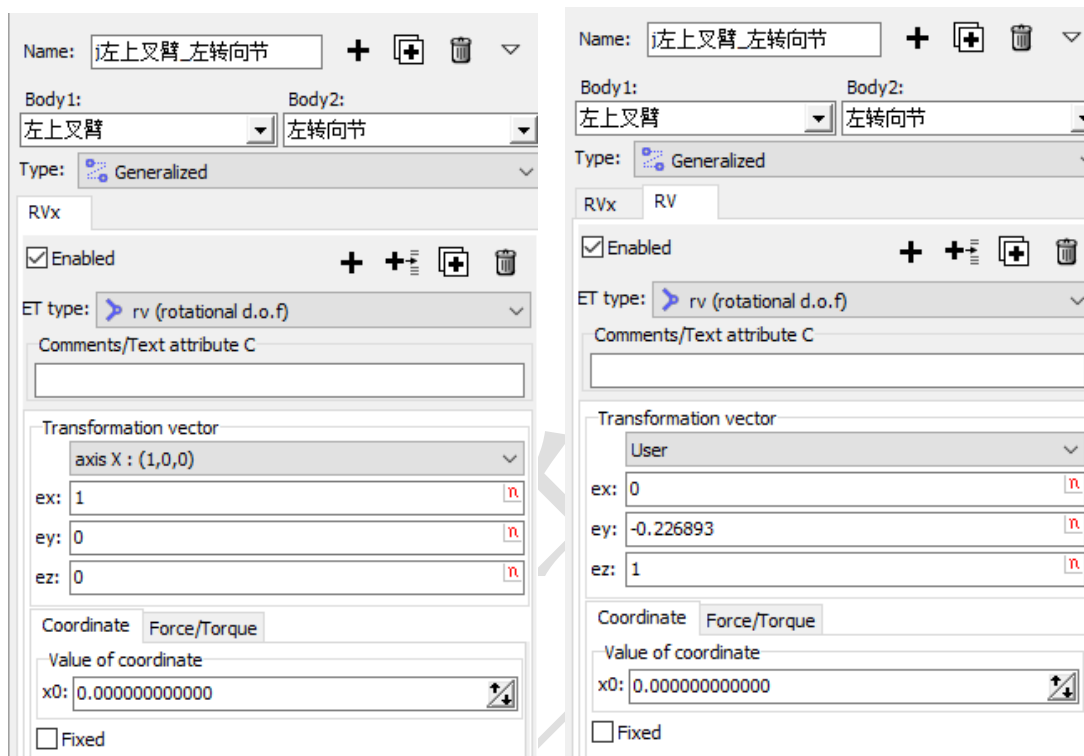
Joint vectors $(1, 0, 0)$ 和 $(1, 0, 0)$ 。



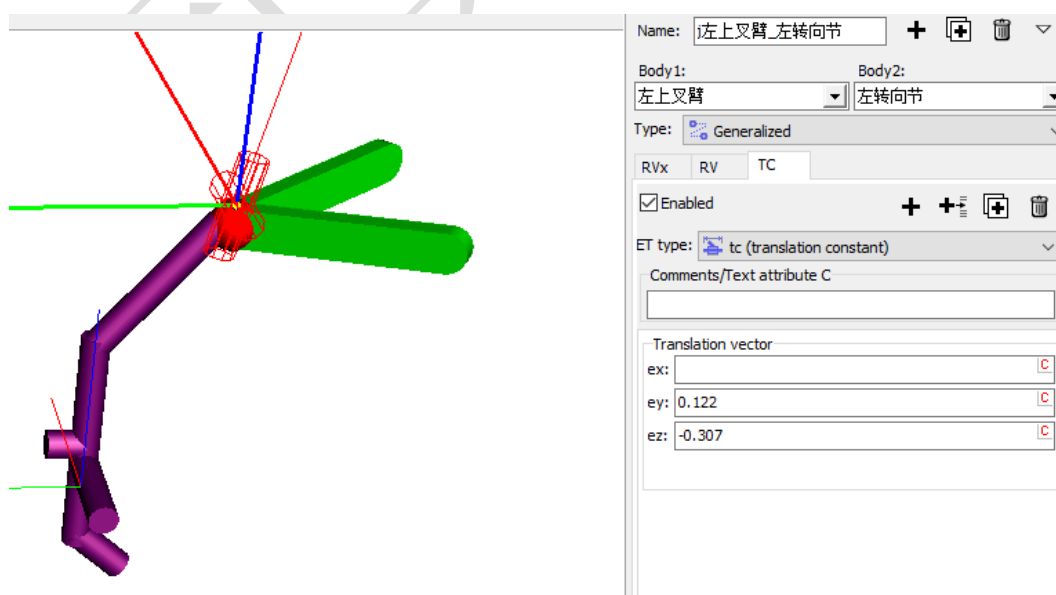
j 左上叉臂_左转向节：选择左上叉臂作为铰的 1 号物体，左转向节为 2 号物体，类型为 **Generalized**，依次添加两个 RV 和一个 TC。

RV Transformation vector: $(1, 0, 0)$;

RV Transformation vector: $(0, -0.226893, 1)$;



TC Transformation vector: $(0, 0.122, -0.307)$ 。

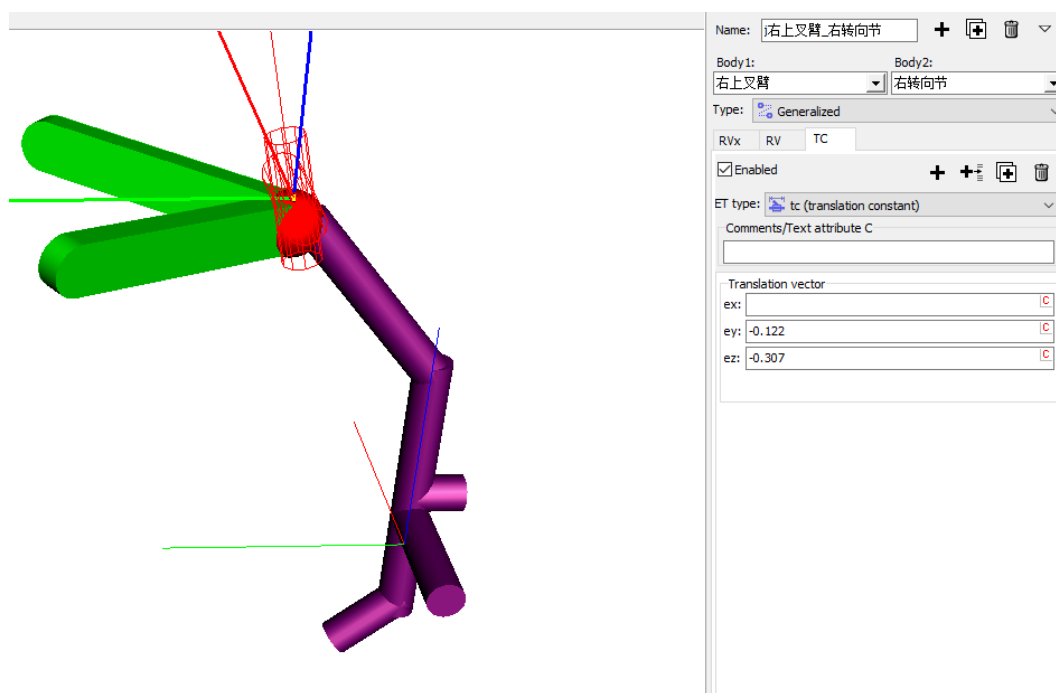


j 右上叉臂_右转向节：选择右上叉臂作为铰的 1 号物体，右转向节为 2 号物体，类型为 **Generalized**，依次添加两个 RV 和一个 TC。（注：可先复制铰 j 左上叉臂_左转向节，再修改）

RV Transformation vector: $(1, 0, 0)$;

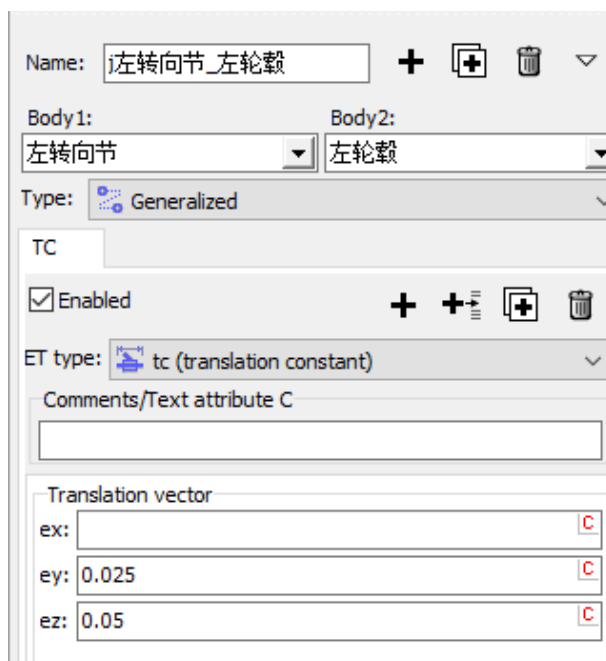
RV Transformation vector: $(0, 0.226893, 1)$;

TC Transformation vector: $(0, -0.122, -0.307)$ 。



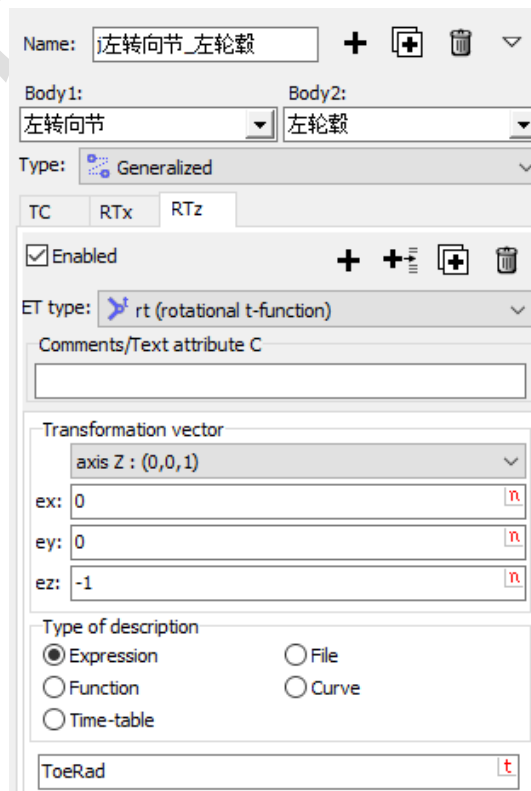
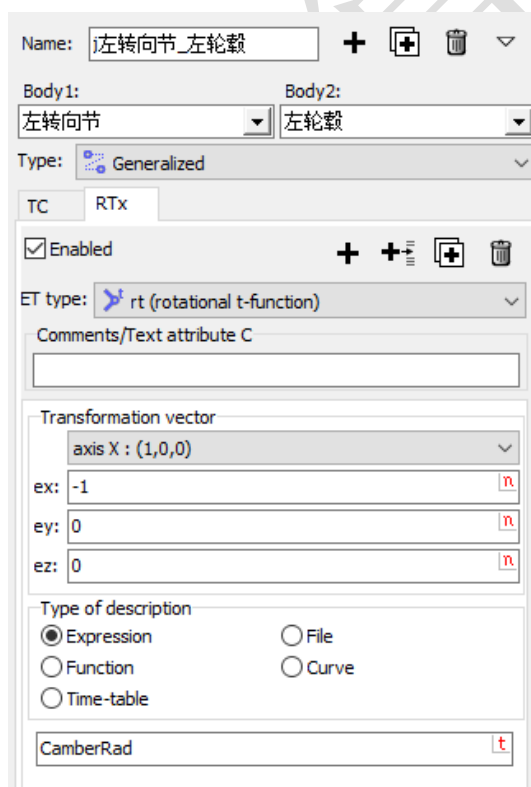
j 左转向节_左轮毂：选择左转向节作为铰的 1 号物体，左轮毂为 2 号物体，类型为 **Generalized**，依次添加一个 TC、两个 RT 和一个 RV。

TC Transformation vector: $(0, 0.025, 0.05)$ 。

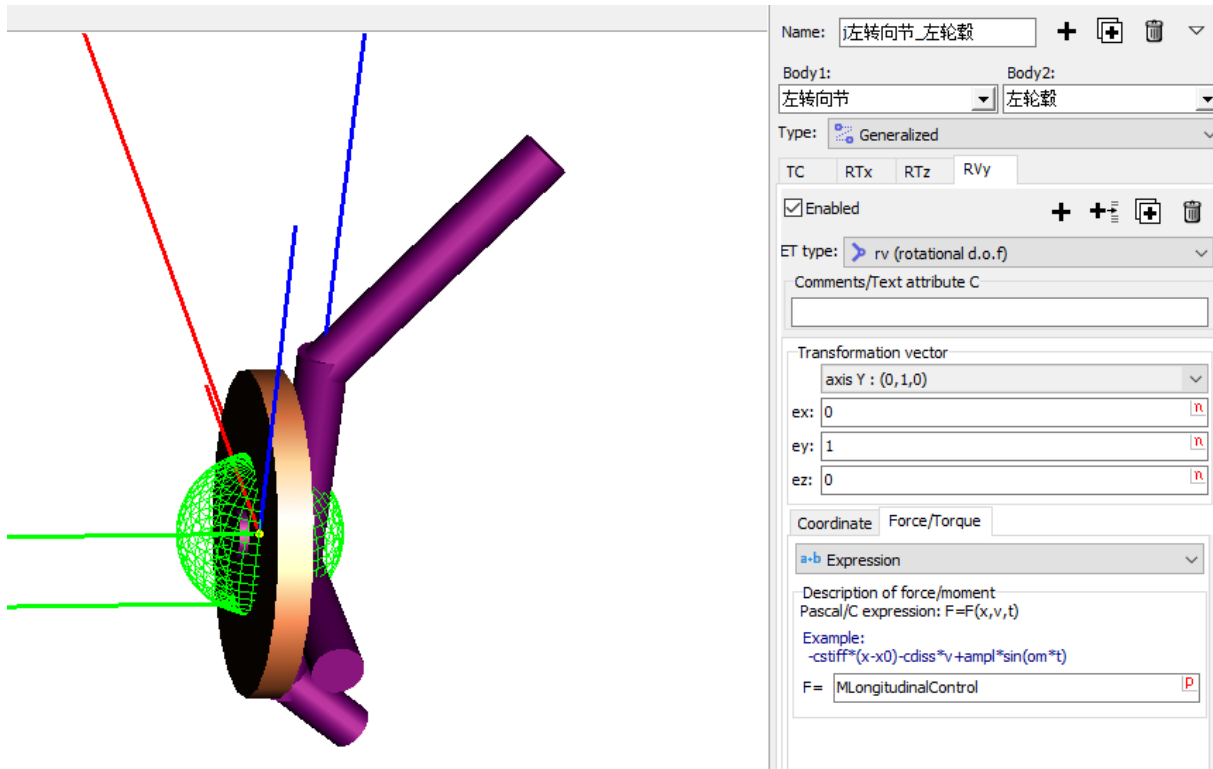


RT Transformation vector: $(-1, 0, 0)$ ，选择 Expression，定义外倾角 *CamberRad*；

RT Transformation vector: $(0, 0, -1)$ ，选择 Expression，定义束角 *ToeRad*；



RV Transformation vector: $(0, 1, 0)$, 在 Force/Torque 页面选择 Expression, 定义纵向速度控制力矩 $M_{LongitudinalControl}$ 。



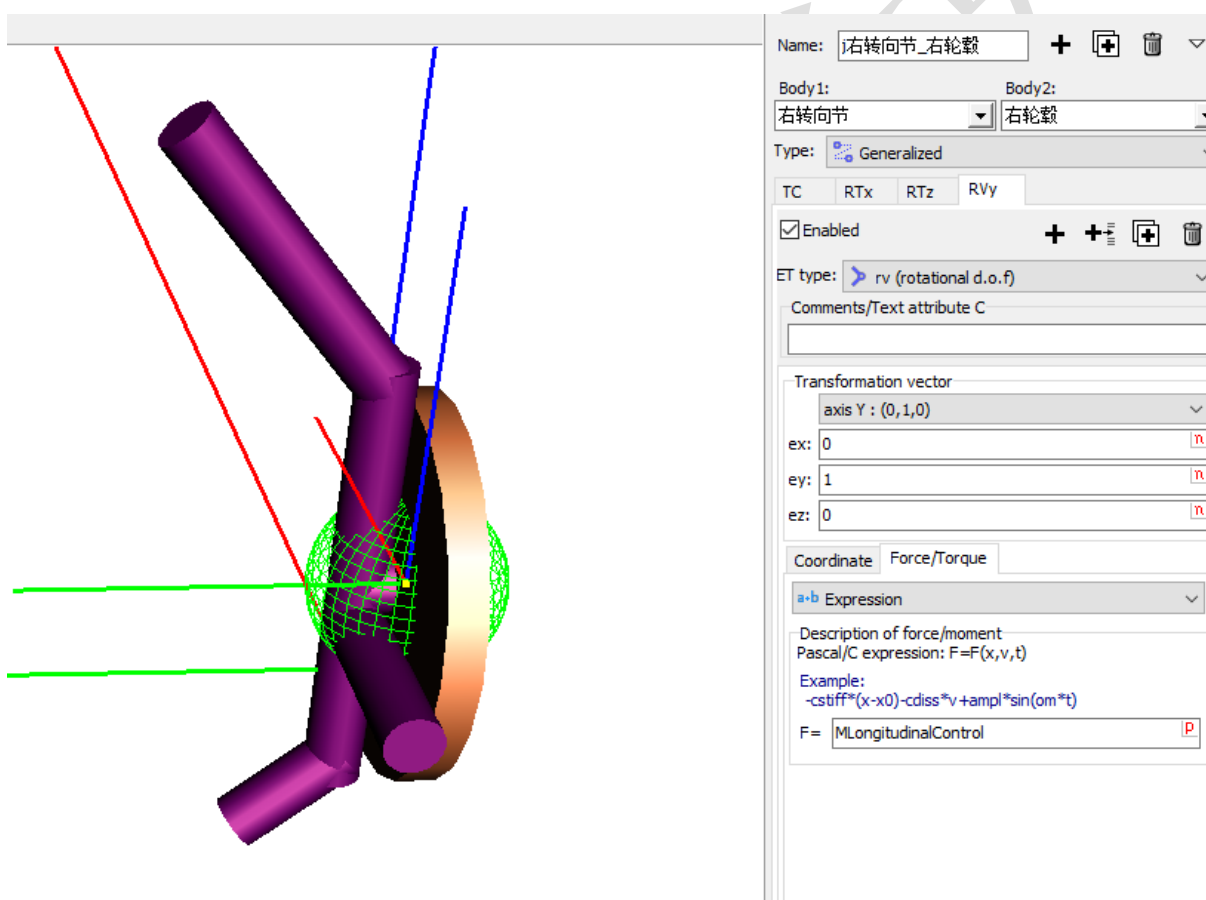
j 右转向节_右轮毂：选择右转向节作为铰的 1 号物体，右轮毂为 2 号物体，类型为 Generalized，依次添加一个 TC、两个 RT 和一个 RV。（注：可先复制铰 j 左转向节_左轮毂，再修改）

TC Transformation vector: $(0, -0.025, 0.05)$ 。

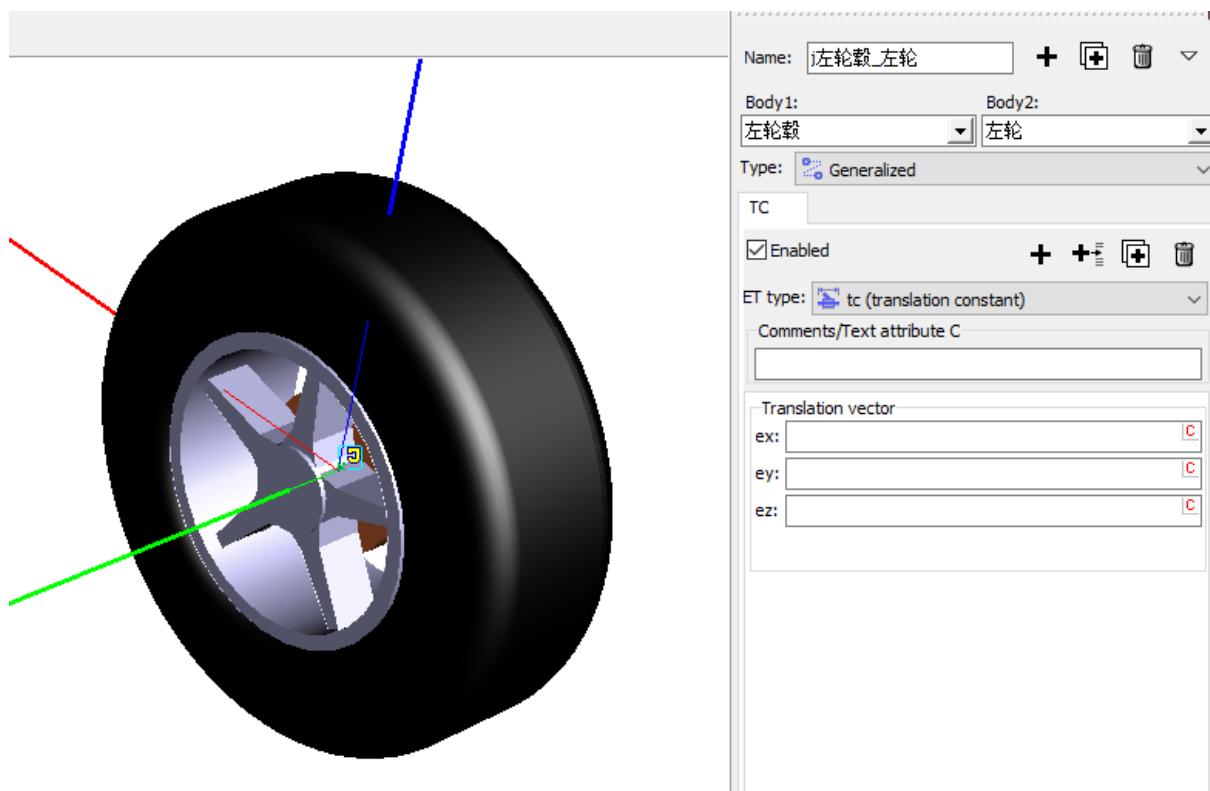
RT Transformation vector: $(1, 0, 0)$ ，选择 Expression，定义外倾角 *CamberRad*；

RT Transformation vector: $(0, 0, 1)$ ，选择 Expression，定义束角 *ToeRad*；

RV Transformation vector: $(0, 1, 0)$ ，在 Force/Torque 页面选择 Expression，定义纵向速度控制力矩 *MLongitudinalControl*。



j 左轮毂_左轮: 选择左轮毂作为铰的 1 号物体, 左轮为 2 号物体, 类型为 **Generalized**., 添加一个 TC, 保持缺省即可。如此, 与添加一个 0 自由度铰的效果一样, 表示将轮胎与轮毂固结在一起。

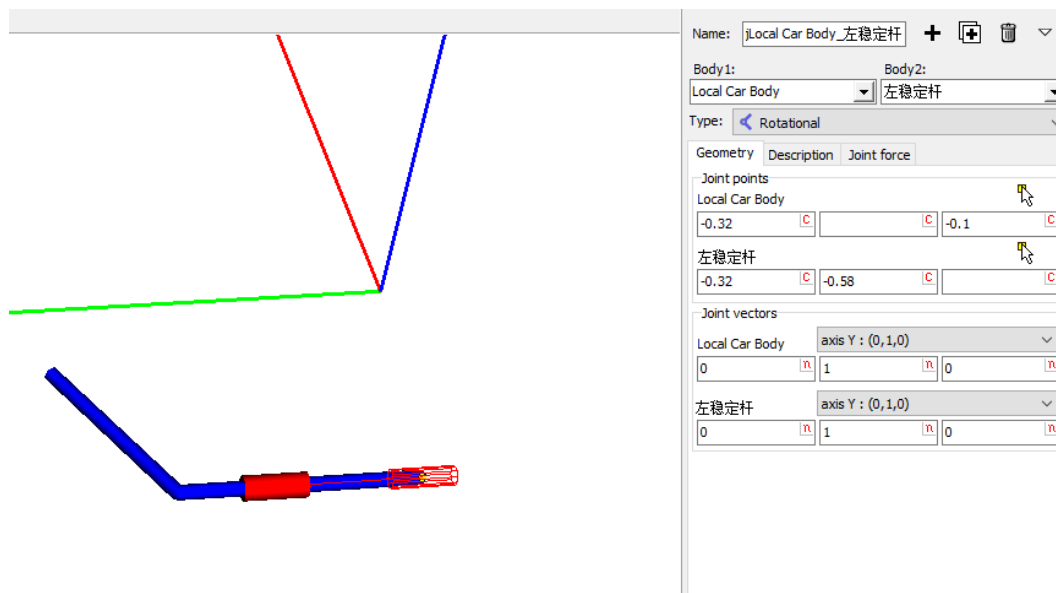


j 右轮毂_右轮: 复制铰 j 左轮毂_左轮, 选择右轮毂作为铰的 1 号物体, 右轮为 2 号物体。

jLocal Car Body_左稳定杆: 选择 **Local Car Body** 作为铰的 1 号物体, 左稳定杆为 2 号物体, 类型为 **Rotational**。

Joint points: $(-0.32, 0, -0.1)$ 和 $(-0.32, -0.58, 0)$;

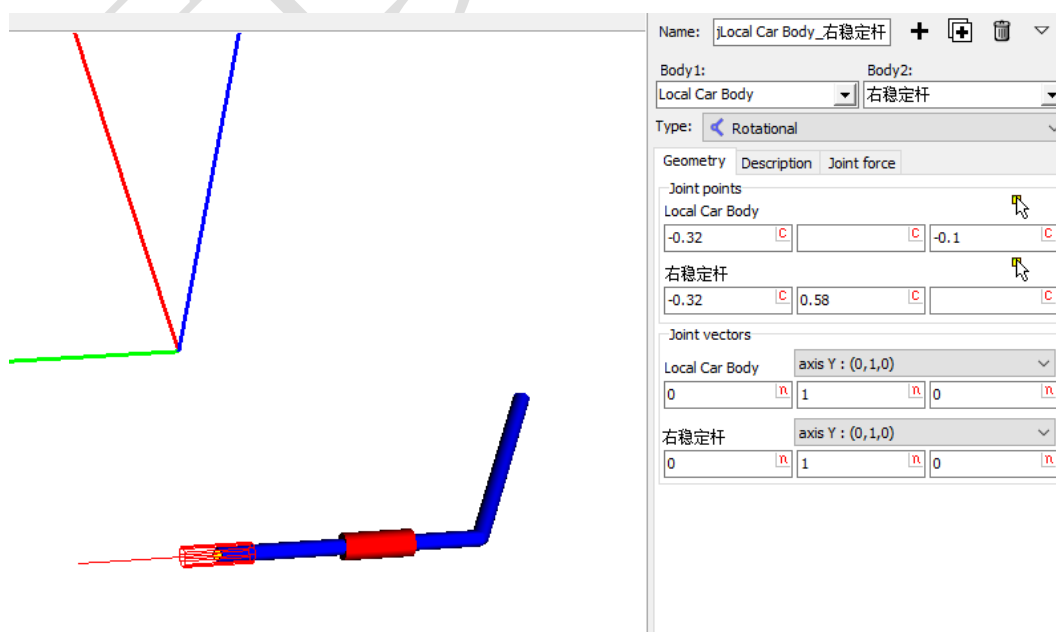
Joint vectors: $(0, 1, 0)$ 和 $(0, 1, 0)$ 。



jLocal Car Body_右稳定杆: 选择 **Local Car Body** 作为铰的 1 号物体, 右稳定杆为 2 号物体, 类型为 **Rotational**。

Joint points: $(-0.32, 0, -0.1)$ 和 $(-0.32, 0.58, 0)$;

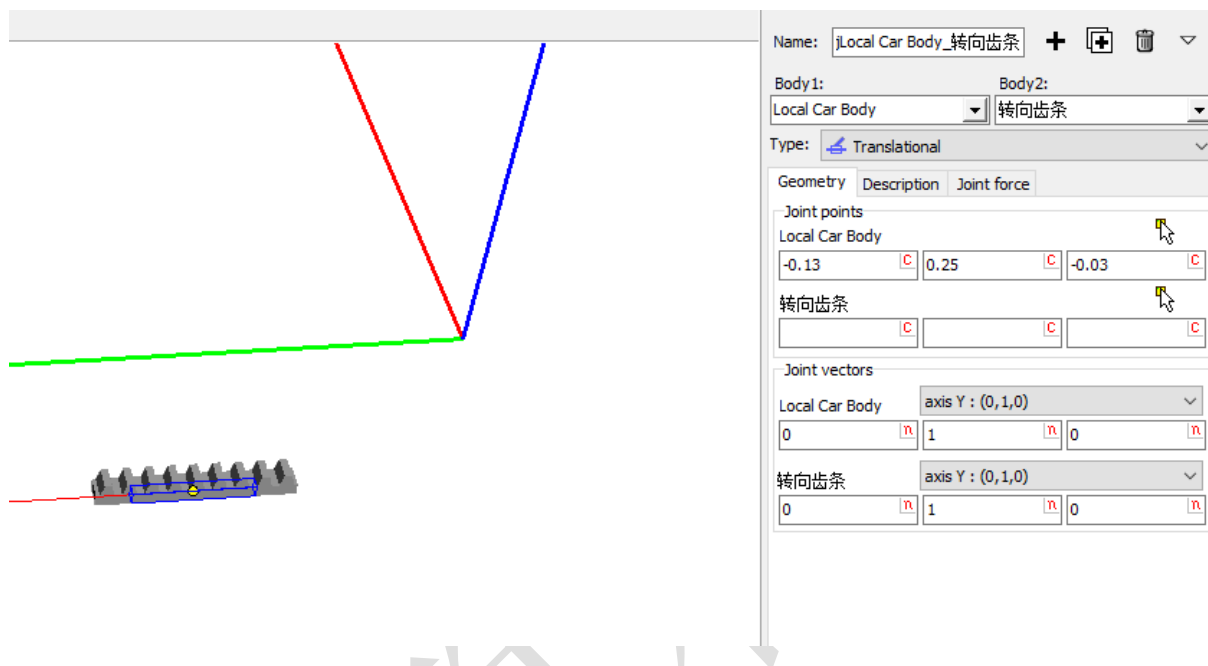
Joint vectors: $(0, 1, 0)$ 和 $(0, 1, 0)$ 。



jLocal Car Body_转向齿条: 选择 **Local Car Body** 作为铰的 1 号物体, 转向齿条为 2 号物体, 类型为 **Translational**。

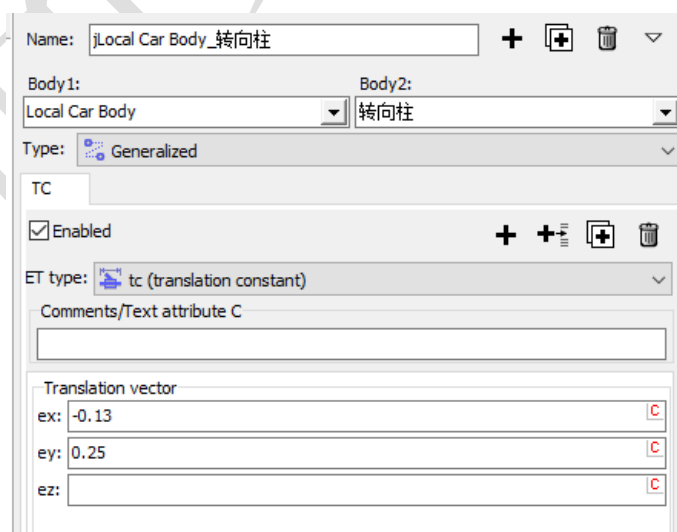
Joint points: $(-0.13, 0.25, -0.03)$ 和 $(0, 0, 0)$;

Joint vectors: $(0, 1, 0)$ 和 $(0, 1, 0)$ 。



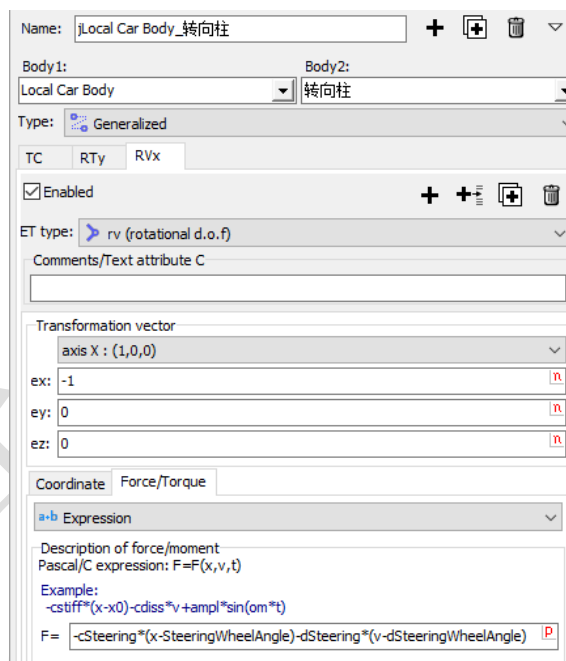
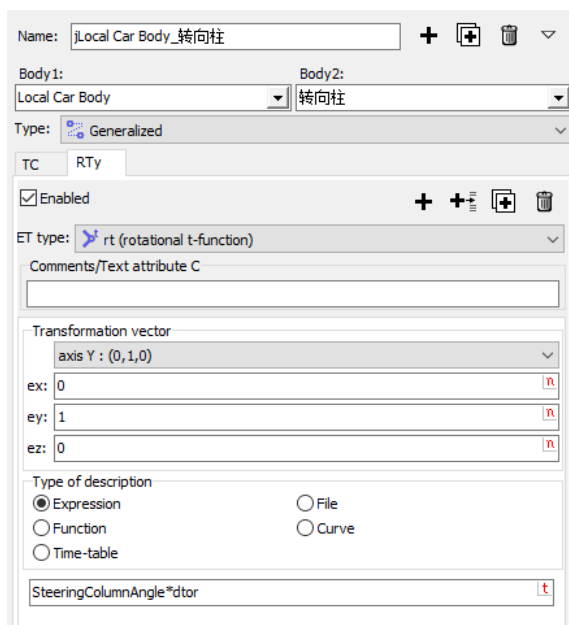
jLocal Car Body_转向柱: 选择 **Local Car Body** 作为铰的 1 号物体, 转向柱为 2 号物体, 类型为 **Generalized**, 依次添加一个 TC、一个 RT、一个 RV 和一个 TC。

TC Transformation vector: $(-0.13, 0.25, 0)$;

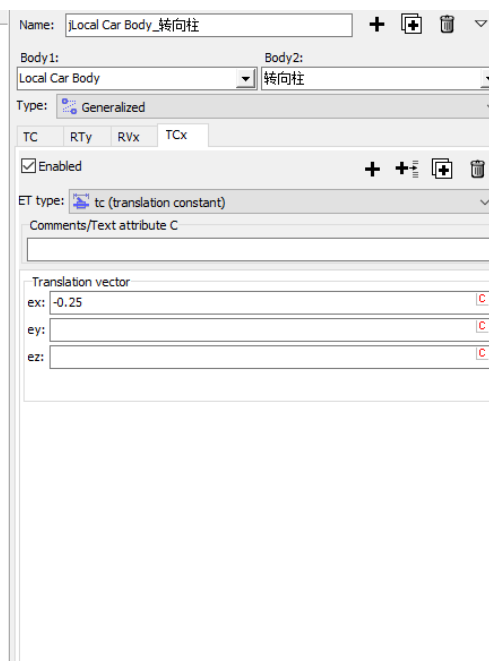
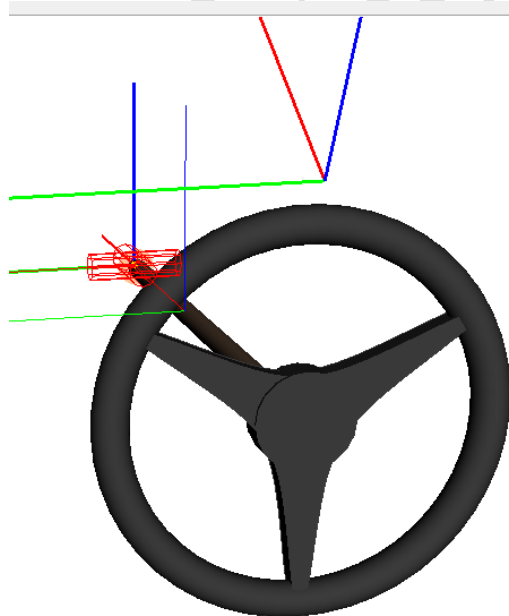


RT Transformation vector: $(0, 1, 0)$, 选择 Expression, 定义转向柱倾角 $SteeringColumnAngle*dtor$;

RV Transformation vector: $(-1, 0, 0)$, 在 Force/Torque 页面选择 Expression, 定义方向盘转角控制力矩 $-cSteering*(x-SteeringWheelAngle)-dSteering*(v-dSteeringWheelAngle)$ 。



TC Transformation vector: $(-0.25, 0, 0)$ 。



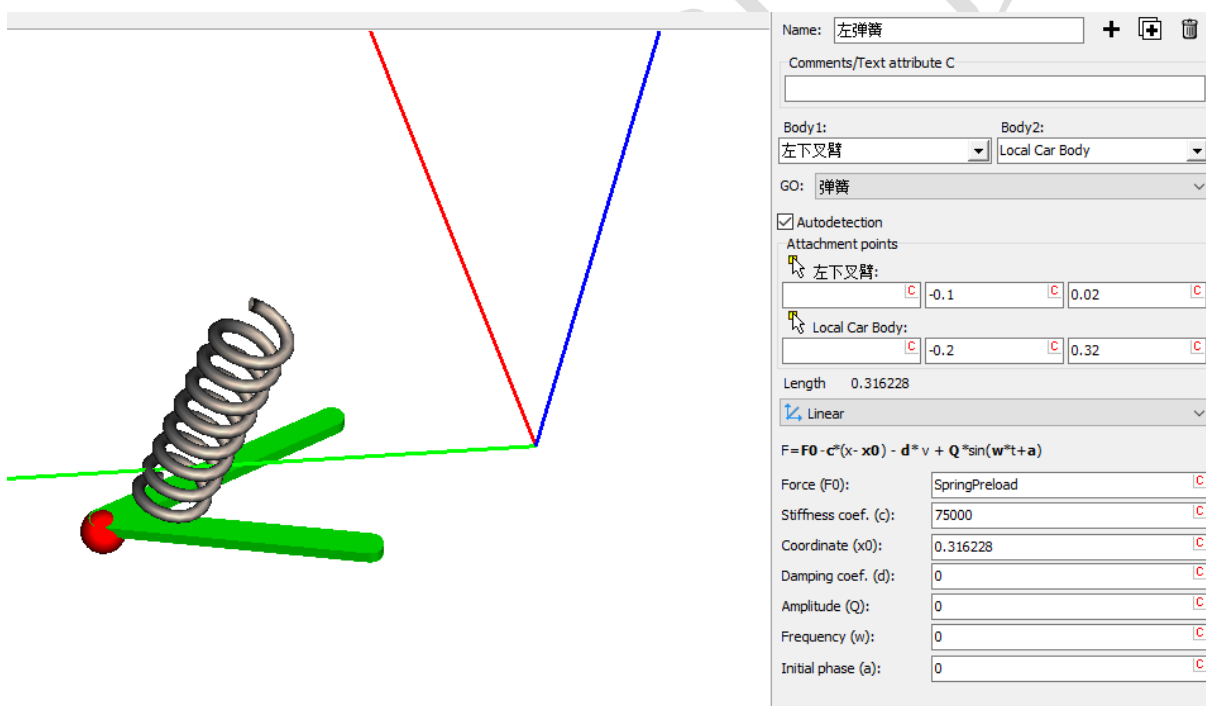
1.5 添加力元

选择 **Bipolar forces** 来建立弹簧、减振器和转向拉杆力元。

左弹簧: 选择左下叉臂作为力元的 1 号物体, **Local Car Body** 为 2 号物体, 弹簧为几何图形, 勾选 **Autodetection**, 类型为 **Linear**。

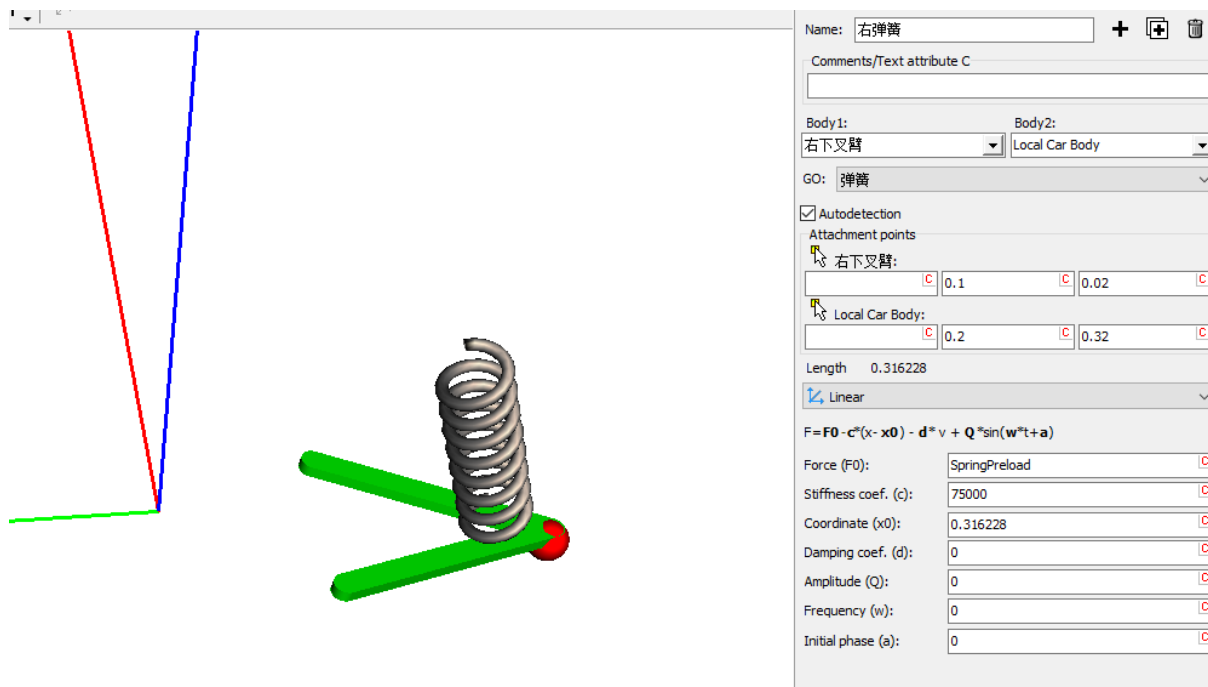
Attachment points: 1 号物体连接点坐标 (0, -0.1, 0.02), 2 号物体连接点坐标 (0, -0.2, 0.32), 自动计算出当前距离/长度为 0.316228(m)。(注意: 由于前面勾选了 Autodetection, 故两个坐标都是在 1 号物体坐标系中定义的)

Linear: 定义预压力 $F_0 = \text{SpringPreload}$, 刚度系数 $c = 75000$ (N/m), 初始长度 $x_0 = 0.316228$ (m)。

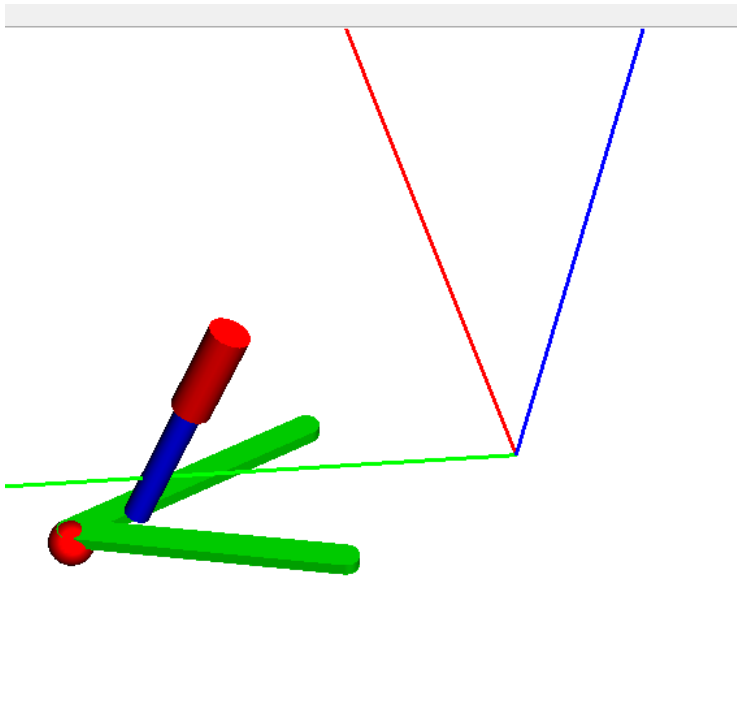


右弹簧：复制力元左弹簧，选择右下叉臂作为力元的 1 号物体。

Attachment points: (0, 0.1, 0.02) 和 (0, 0.2, 0.32)。



按下面两图定义左、右减振器。



Name: 左减振器

Comments/Text attribute C

Body1: 左下叉臂 Body2: Local Car Body

GO: 减振器

☒ Autodetection

Attachment points

左下叉臂: -0.1 0.02

Local Car Body: -0.2 0.32

Length 0.316228

Linear

$F = F_0 - c(x - x_0) - d \cdot v + Q \sin(\omega t + a)$

Force (F0): 0

Stiffness coef. (c): 0

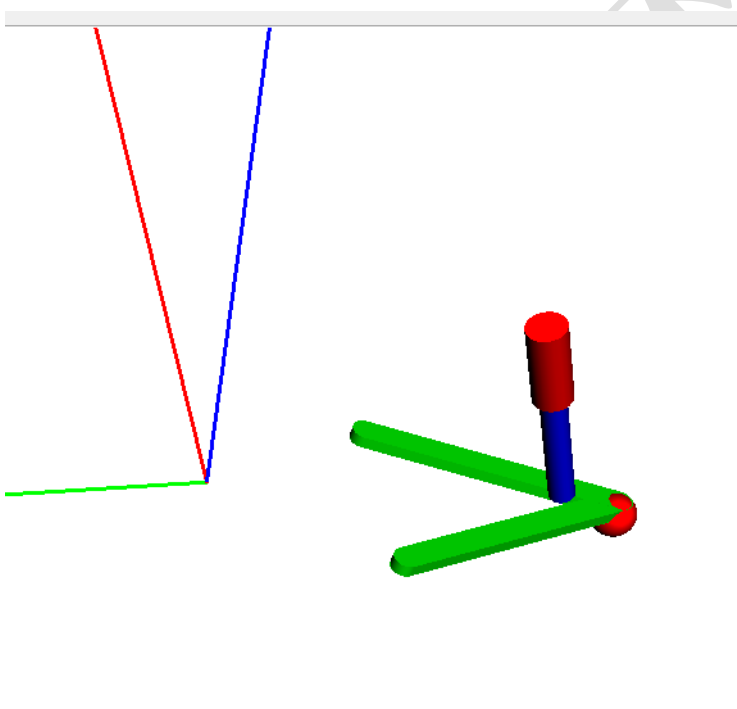
Coordinate (x0): 0

Damping coef. (d): 1400

Amplitude (Q): 0

Frequency (w): 0

Initial phase (a): 0



Name: 右减振器

Comments/Text attribute C

Body1: 右下叉臂 Body2: Local Car Body

GO: 减振器

☒ Autodetection

Attachment points

右下叉臂: 0.1 0.02

Local Car Body: 0.2 0.32

Length 0.316228

Linear

$F = F_0 - c(x - x_0) - d \cdot v + Q \sin(\omega t + a)$

Force (F0): 0

Stiffness coef. (c): 0

Coordinate (x0): 0

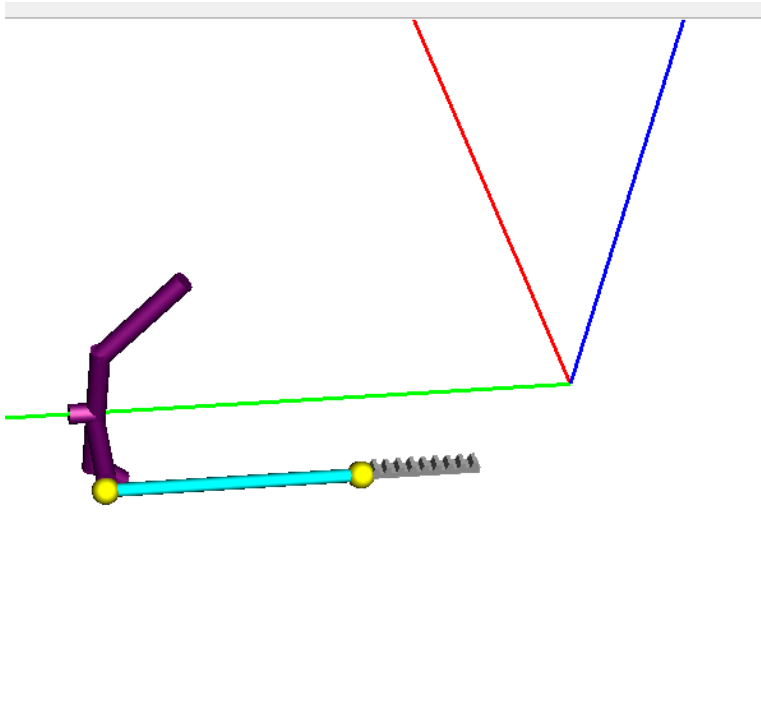
Damping coef. (d): 1400

Amplitude (Q): 0

Frequency (w): 0

Initial phase (a): 0

按下面两图定义左、右转向拉杆。



Name: 左转向拉杆

Comments/Text attribute C

Body1: 转向齿条 Body2: 左转向节

GO: 转向拉杆

☒ Autodetection

Attachment points

转向齿条:

左转向节:

Length 0.37

Linear

$F = F_0 - c^2(x - x_0) - d^2v + Q \sin(wt + a)$

Force (F0):

Stiffness coef. (c):

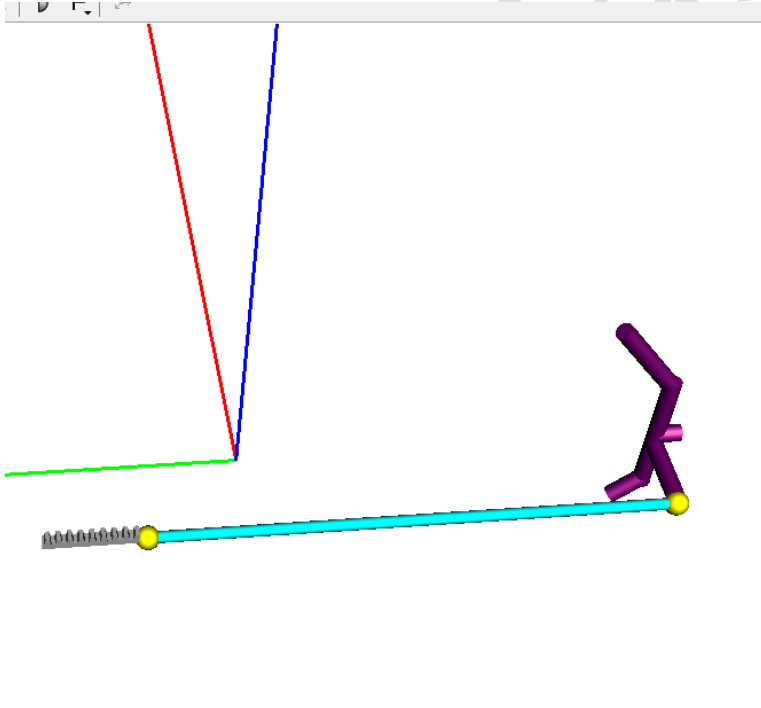
Coordinate (x0):

Damping coef. (d):

Amplitude (Q):

Frequency (w):

Initial phase (a):



Name: 右转向拉杆

Comments/Text attribute C

Body1: 转向齿条 Body2: 右转向节

GO: 转向拉杆

☒ Autodetection

Attachment points

转向齿条:

右转向节:

Length 0.87

Linear

$F = F_0 - c^2(x - x_0) - d^2v + Q \sin(wt + a)$

Force (F0):

Stiffness coef. (c):

Coordinate (x0):

Damping coef. (d):

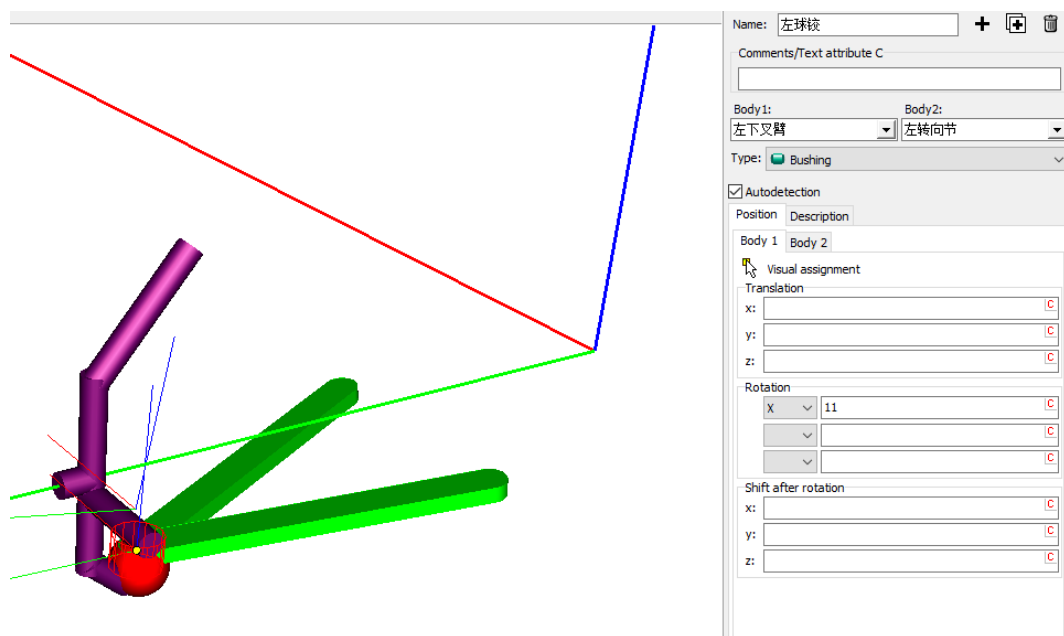
Amplitude (Q):

Frequency (w):

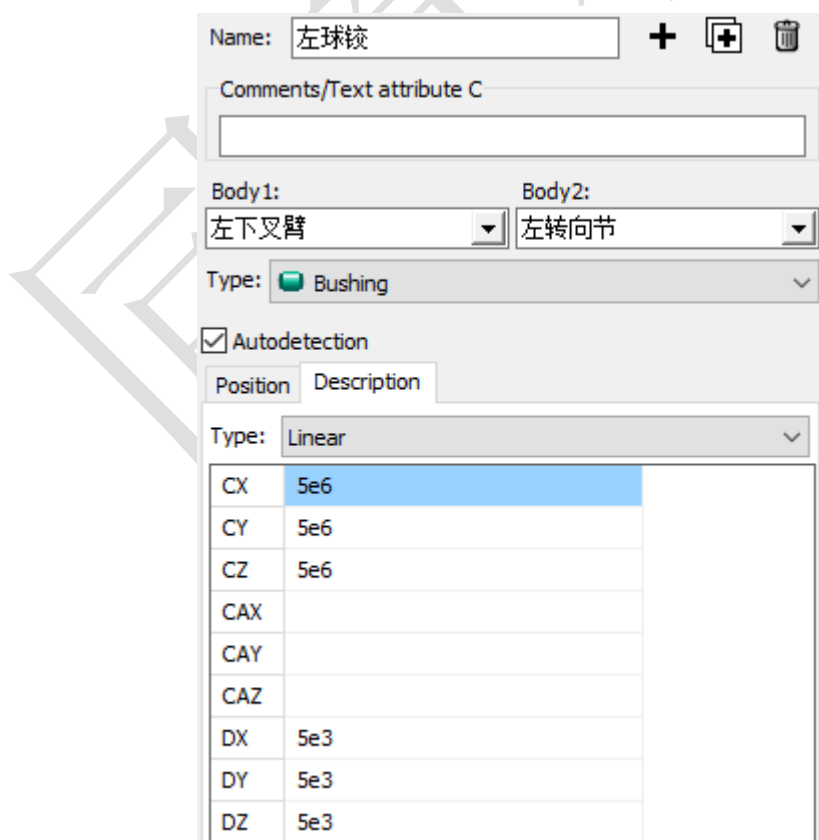
Initial phase (a):

选择 **Special forces** 来建立球铰、稳定杆、扭杆、齿轮齿条和轮胎等力元。

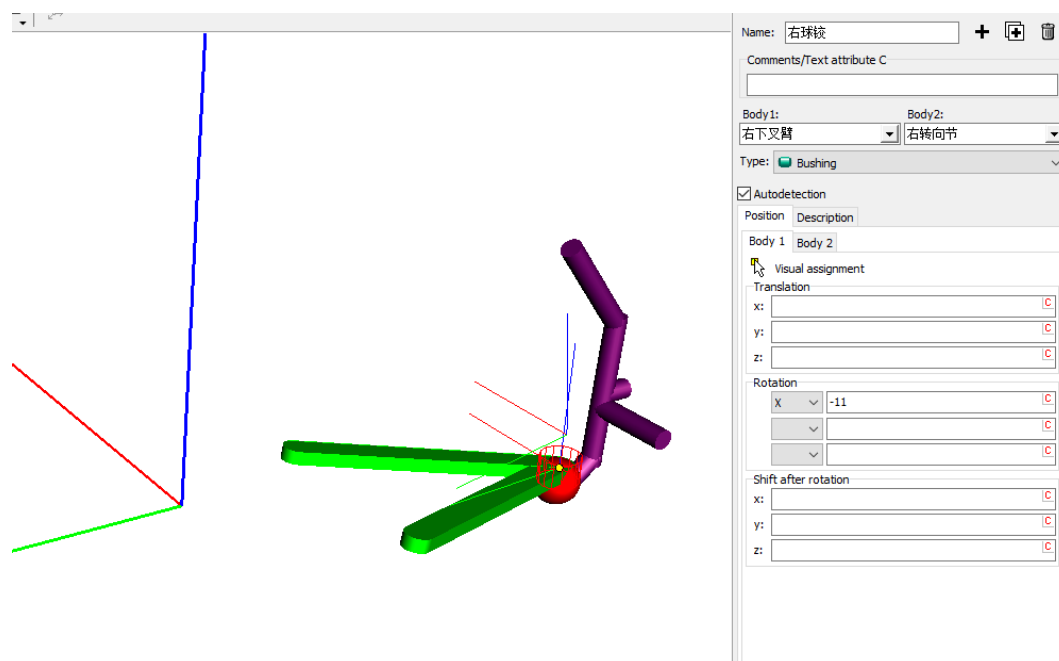
左球铰：选择类型 **Bushing**，左下叉臂为力元的 1 号物体，左转向节为 2 号物体，勾选 Autodetection，这样只需在 Body1 上设置一个点，参数如下图。



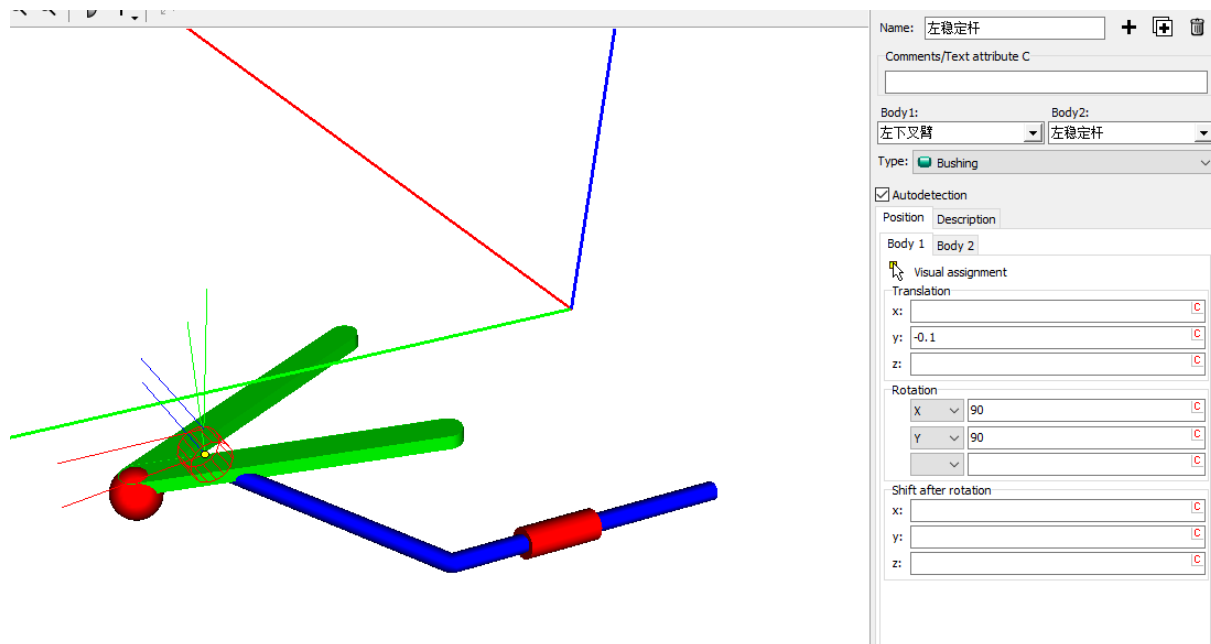
在 **Description** 页面设置 X、Y 和 Z 三个方向的约束刚度和阻尼系数，如下图。



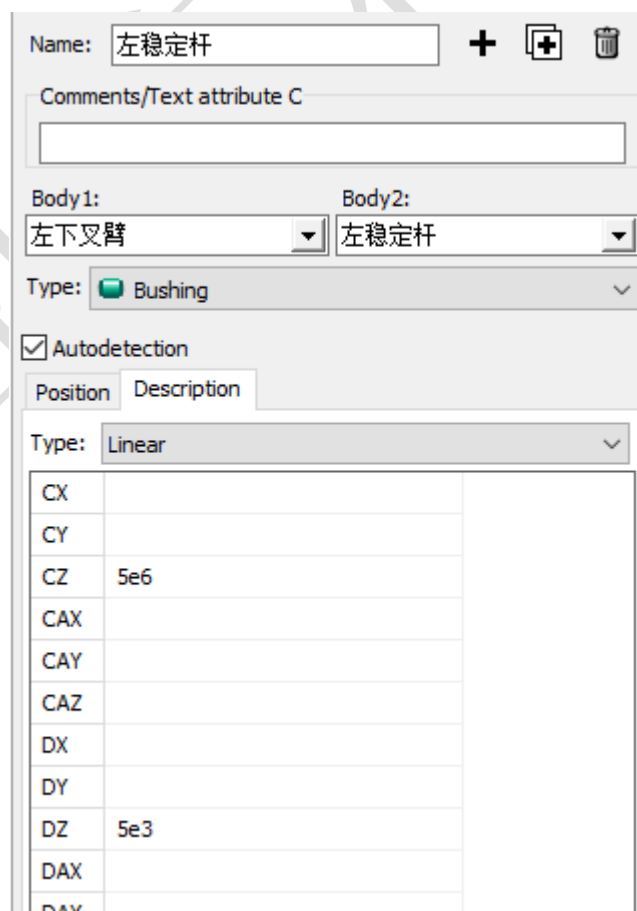
右球铰：复制力元左球铰，选择右下叉臂为力元的 1 号物体，右转向节为 2 号物体
设置 Position 参数如下图，其余不变。



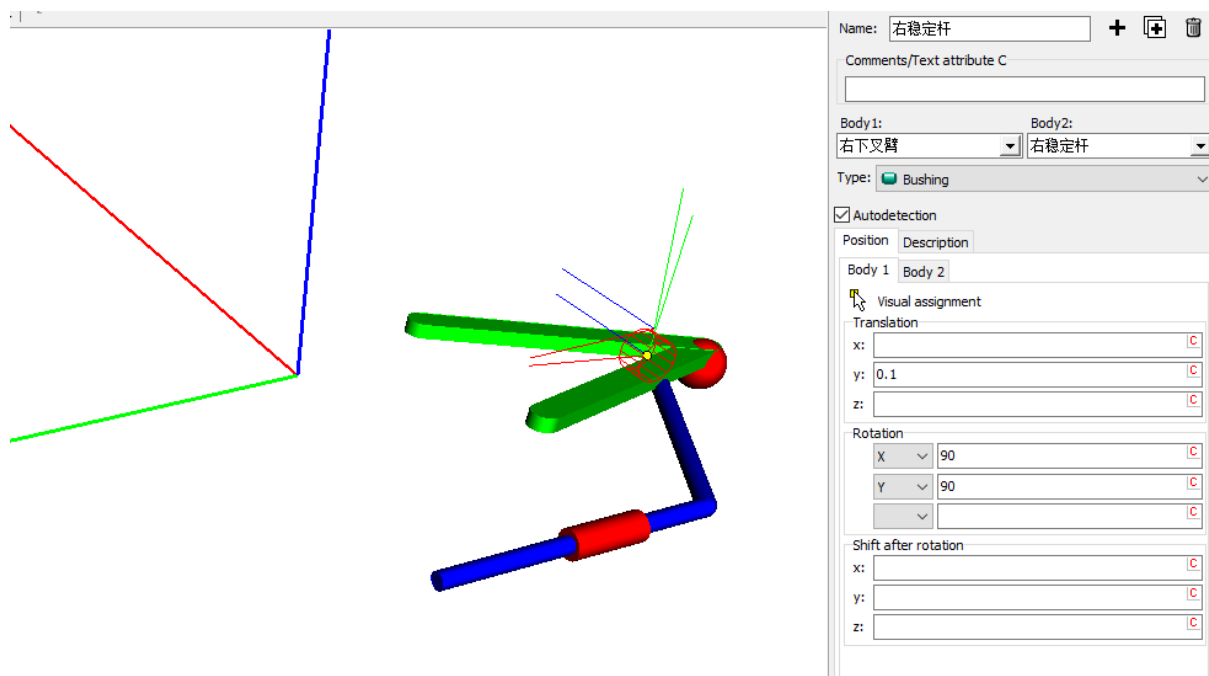
左稳定杆：复制力元左球铰或右球铰，选择左下叉臂为力元的 1 号物体，左稳定杆为 2 号物体，设置 Position 参数如下图。



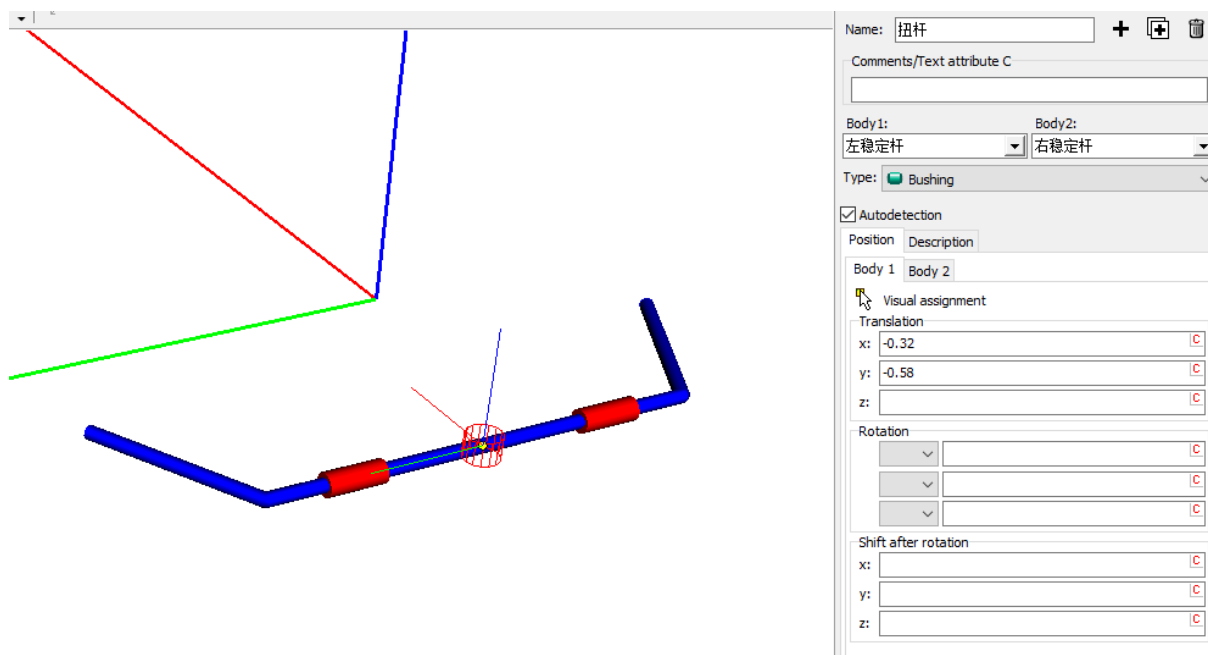
在 **Description** 页面设置 Z 方向的约束刚度和阻尼系数，如下图。



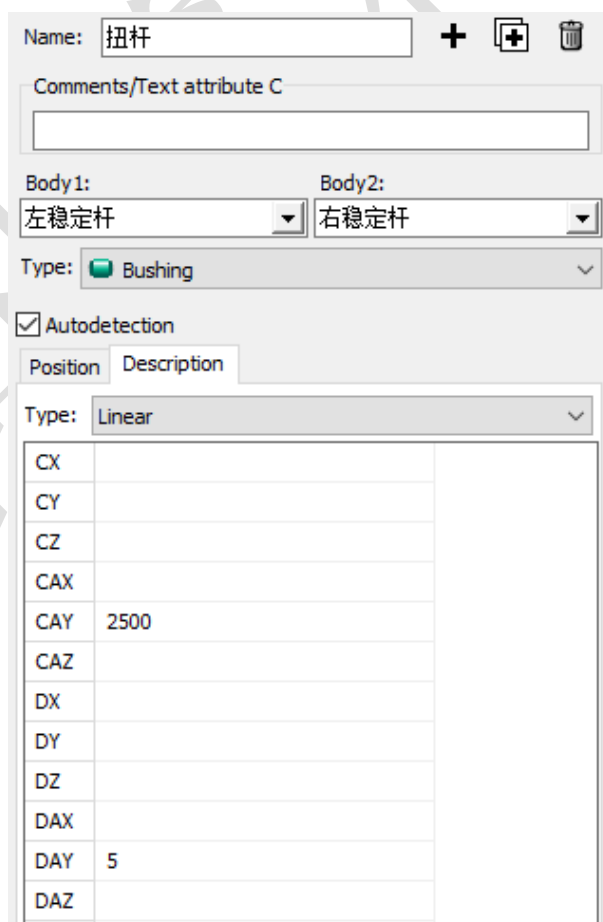
右稳定杆：复制力元左稳定杆，选择右下叉臂为力元的 1 号物体，右稳定杆为 2 号物体，设置 **Position** 参数如下图，其余不变。



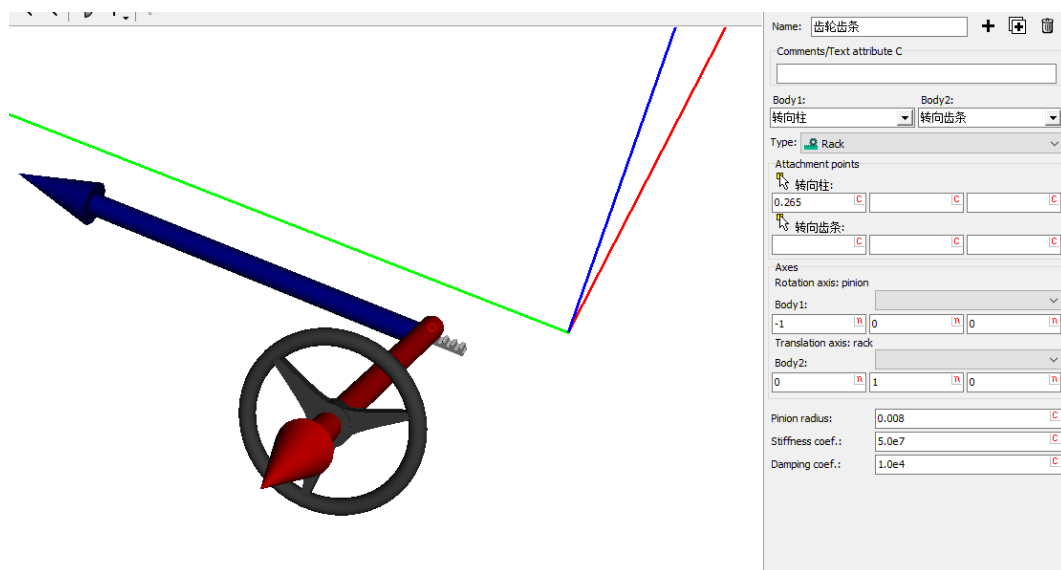
扭杆：复制力元左稳定杆或右稳定杆，选择左稳定杆为力元的 1 号物体，右稳定杆为 2 号物体，设置 **Position** 参数如下图。



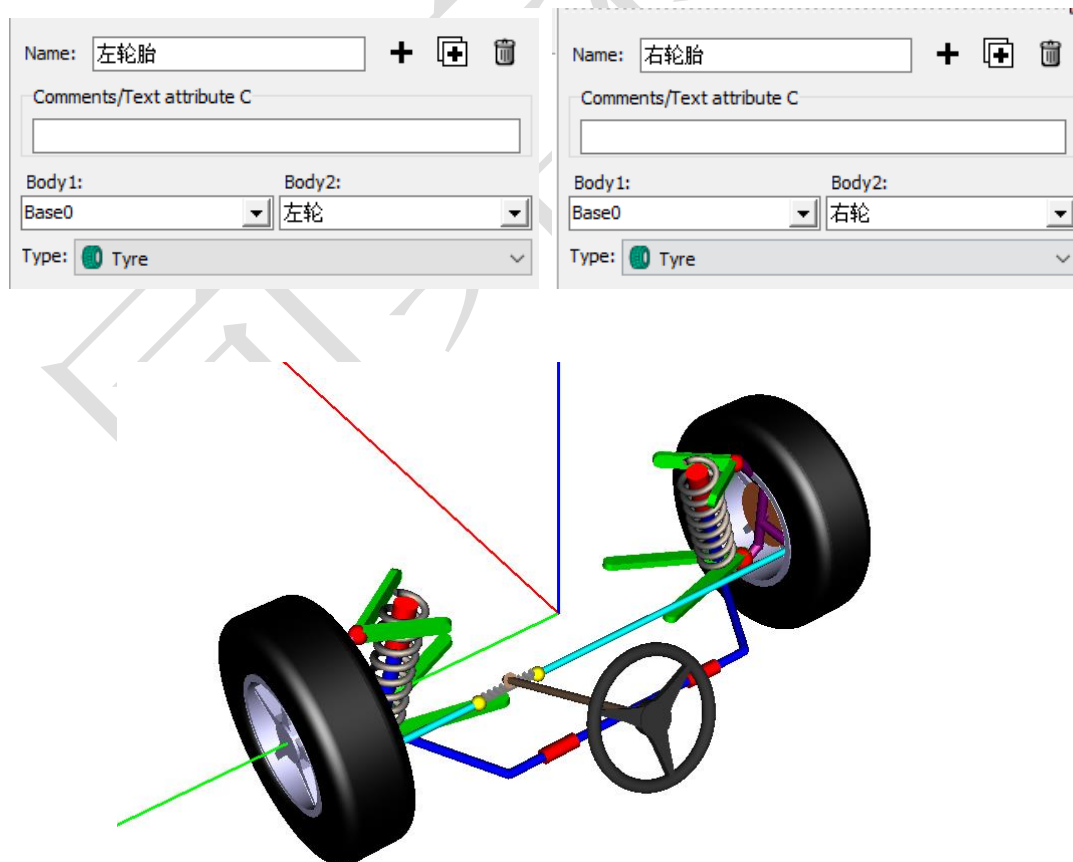
在 **Description** 页面设置绕 Y 轴转动方向的约束刚度和阻尼系数，如下图。



齿轮齿条：选择类型 **Rack**，转向柱为力元的 1 号物体，转向齿条为 2 号物体，按下图设置齿轮齿条啮合参数。



最后，分别为左右轮添加一个轮胎力元，如下图所示，1 号物体均为 **Base0**，轮胎的力学特性参数将在仿真程序中设置。



建模完成，保存模型。