

履带车辆动力学仿真

UM 软件入门系列教程

(08)

四川同算科技有限公司 译

2021 年 3 月

前言

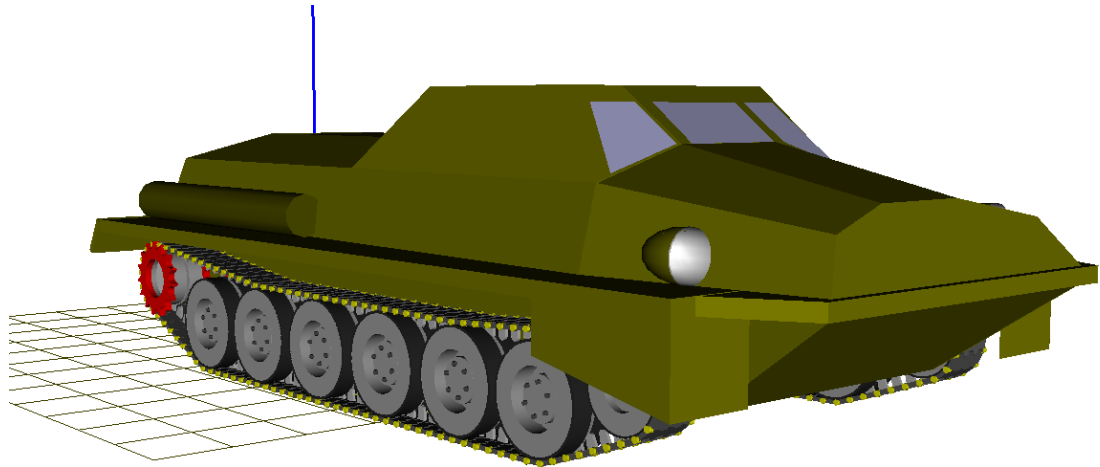
本教程介绍使用**UM Tracked Vehicle**模块进行履带车辆动力学建模和仿真的基本方法和步骤。**UM Tracked Vehicle**模块用于履带车辆动力学建模和仿真，包含一系列履带专用工具和算法，可以模拟多种结构形式的履带车辆，如装甲车、坦克、工程机械和机器人等。

请读者在学习本课程之前务必先学习《**UM软件入门系列教程01：多体系统动力学仿真**》，并熟悉UM软件的基本操作：新建模型，创建几何图形、刚体、铰和力元。

本例模型位于本地目录{**UM Data**}**SAMPLES****Tracked_Vehicles****gsTV**。

本教程只是帮助用户快速熟悉**UM Tracked Vehicle**模块的基本使用方法，有关更详细的理论和先进的技术介绍请查阅用户手册第十八章。

请先运行**UM Input**或**UM Simulation**程序，选择菜单**Help | About**，在弹出窗口查看**UM Tracked Vehicle**一栏是否为“+”标记，若显示为“-”，则请重新申请试用或购买正版许可。



版权和商标

本教程仅供读者参考，不同的版本其界面可能有个别不同之处，我们会不定期进行修订。对于本文档中可能出现的任何错误，我们不承担任何责任或义务。

版权所有© 2021 Computational Mechanics Ltd.

俄罗斯计算力学有限公司保留所有权利。

联系方式

最新版的UM软件和相应的用户手册下载地址：

<http://www.universalmechanism.com/en/pages/index.php?id=3>.

若无法访问，请点击：<http://www.umlab.ru/en/pages/index.php?id=3>.

在使用过程中，读者如有任何报错、疑问和建议，请发送邮件至：

um@universalmechanism.com

UM总部

Computational Mechanics Ltd.

Vostochnaya str. 2-14, Glinischevo, Bryansk region, 241525, Russia

Phone, fax: +7 4832 568637

www.universalmechanism.com www.umlab.ru

UM中国

四川同算科技有限公司

四川省眉山市彭山区蔡山西路2号伟业广场1911室

办公电话：028-38520556

公司网站：www.tongsuan.cn

电子邮件：um@tongsuan.cn



微信公众号



QQ 交流群

目 录

1. 履带车辆动力学建模	1
1.1 车辆原型	1
1.2 添加履带子系统.....	2
1.3 履带构造	3
1.4 添加悬挂	4
1.5 添加主动轮.....	7
1.6 添加诱导轮.....	10
1.7 添加履带环.....	11
1.8 添加减振器.....	12
1.9 完成整车建模.....	15
1.9.1 添加车体.....	15
1.9.2 连接车体和行动装置.....	18
1.9.3 添加右侧履带	19
1.9.4 调整垂向位置.....	20
2. 履带车辆动力学仿真	24
2.1 说明.....	24
2.2 模型调试	26
2.2.1 计算平衡位置	26
2.2.2 履带张紧测试.....	30
2.2.3 垂向谐载测试.....	37
2.2.4 计算初始速度.....	38
2.3 直线行驶仿真.....	39
2.3.1 起伏路面.....	39
2.3.2 跳跃垂直墙.....	42

1. 履带车辆动力学建模

1.1 车辆原型

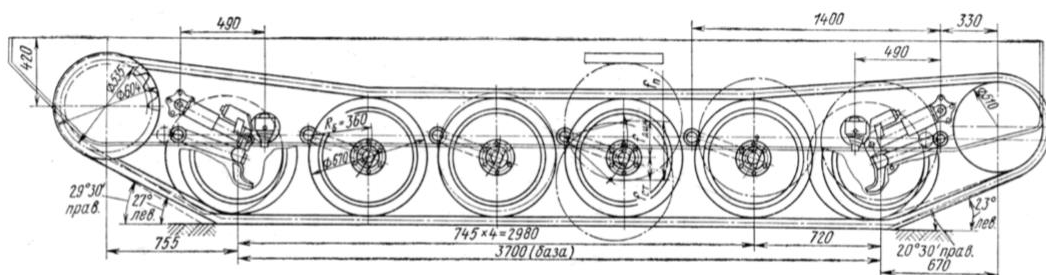





图 1.1

本课程将建立一个典型的履带车辆模型，其原型是俄罗斯某轻型装甲运输车，其行动装置结构如图 1.1 所示。

本课程的目的仅仅是演示模块基本功能和使用方法，因此在建模时有些参数取值与实际有所不同。

1.2 添加履带子系统

1. 运行 **UM Input** 程序，选择菜单 **File | New object** 或点击按钮  新建一个模型。
2. 选择菜单 **File | Save as** 或点击按钮 ，保存模型，请读者自定义模型名称和路径，如：**{UM Data}\My models\gsTV**。
3. 在左侧模型树选中 **Subsystems**，点右键(或在右侧交互界面点击按钮 )，添加一个子系统（**Add element to group of "Subsystems"**），从中选择 **Caterpillar** 履带子系统，如图 1.2 所示。

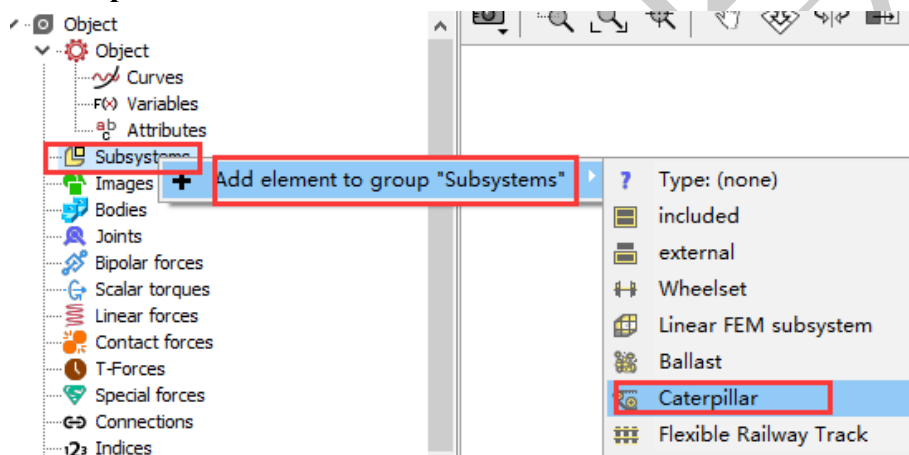


图 1.2

4. 在右侧交互界面将子系统重命名为 **Left Track**。

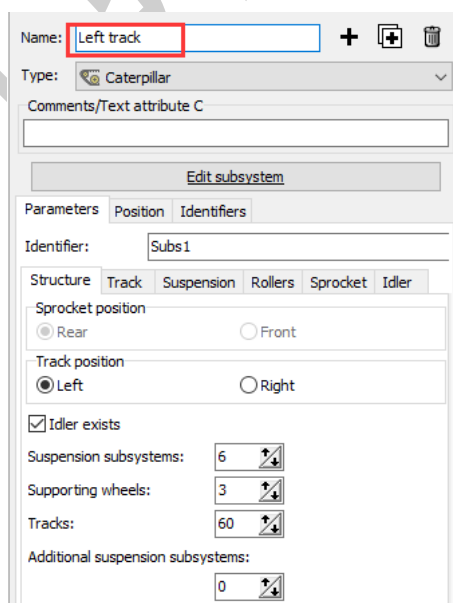


图 1.3

1.3 履带构造

1. 在右侧交互界面，定位到 **Parameters | Structure** 页面，定义履带车辆行动装置的总体结构。
2. 该车辆每侧有 **6** 个负重轮，无托带轮，共计 **108** 块履带板，请按图 1.4 所示修改相应数值。

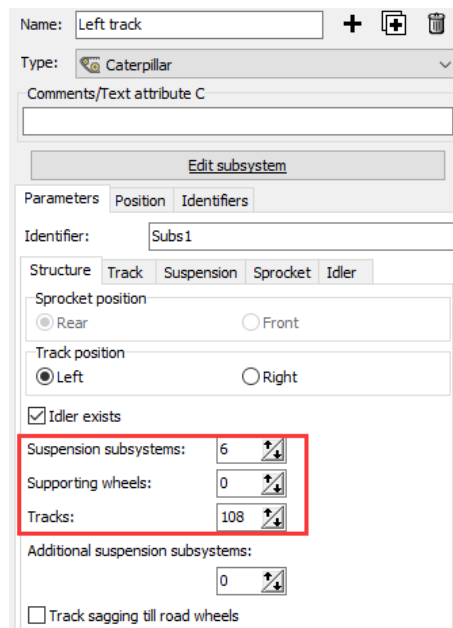


图 1.4

1.4 添加悬挂

1. 转到 **Parameters | Suspension** 页面，缺省悬挂类型为扭杆弹簧。上一步设置了 6 个负重轮子系统（含悬挂系统），因此这里会列表显示 6 个纵坐标（ $Xc1 \cdots Xc6$ ），对照图 1.5 输入（此时我们认为纵坐标零点位于主动轮（后置）轮心，因此负重轮沿 X 轴正向依次排列）。此外，还需要指定负重轮的半径和宽度。请注意，这里所有数据的单位均为 m。

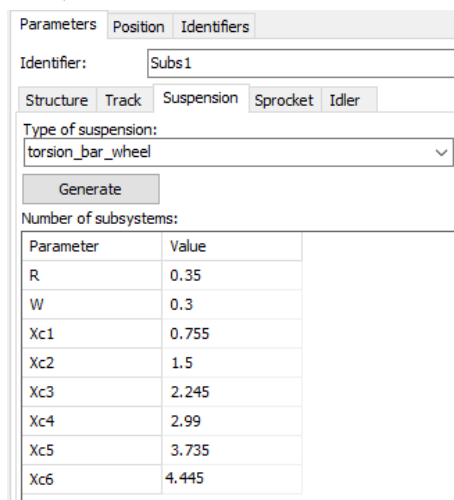


图 1.5

2. 点击 **Generate**，生成 6 个负重轮系统（包含平衡肘和扭杆弹簧），如图 1.6 所示。

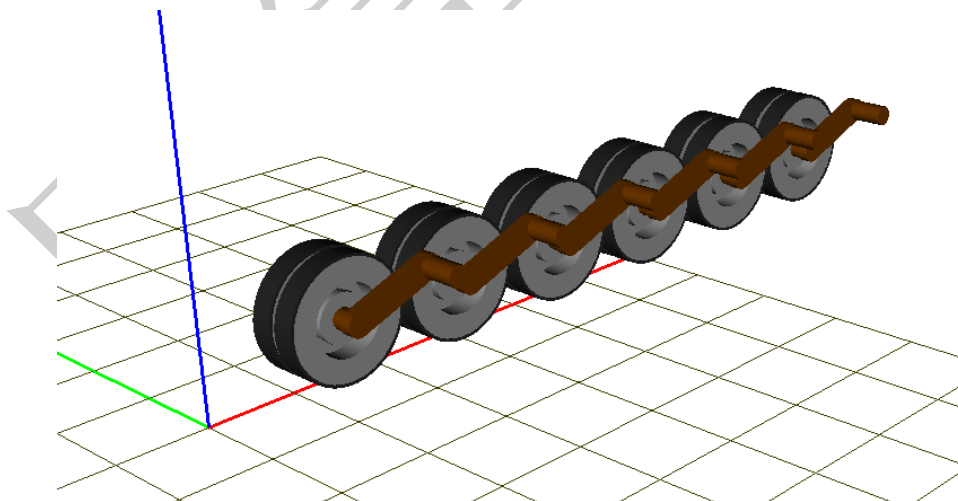


图 1.6

3. 定位到 **Identifiers | Suspension** 页面，修改参数符号 **l_road_arm** 的数值为 **0.36m**，在弹出窗口点 **OK**，应用到所有子系统。

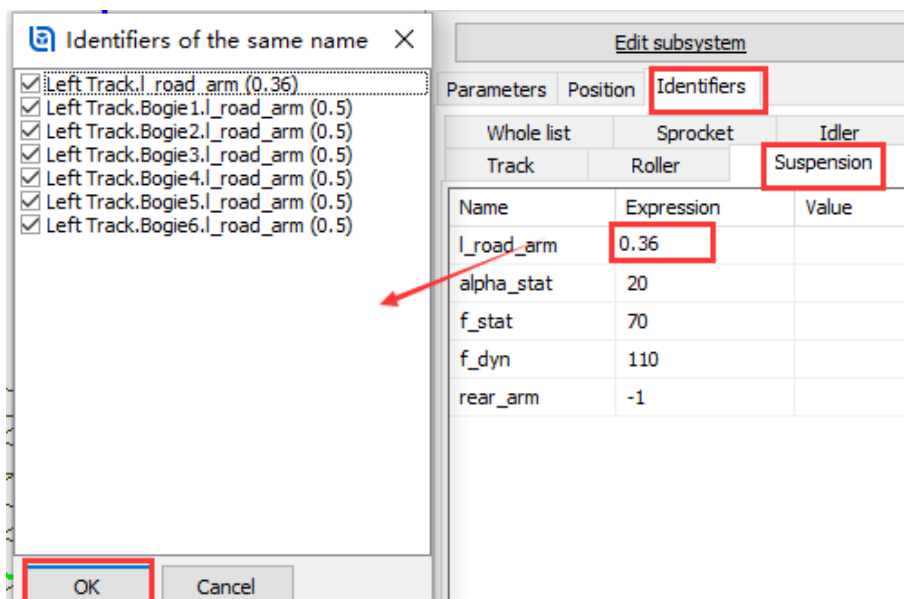


图 1.7

4. 修改平衡肘方位，双击参数符号 **rear_arm**，修改数值为 **1**（决定方向的系数），在弹出窗口，取消选择最后一个，如图 1.7 所示，点击 **OK**。

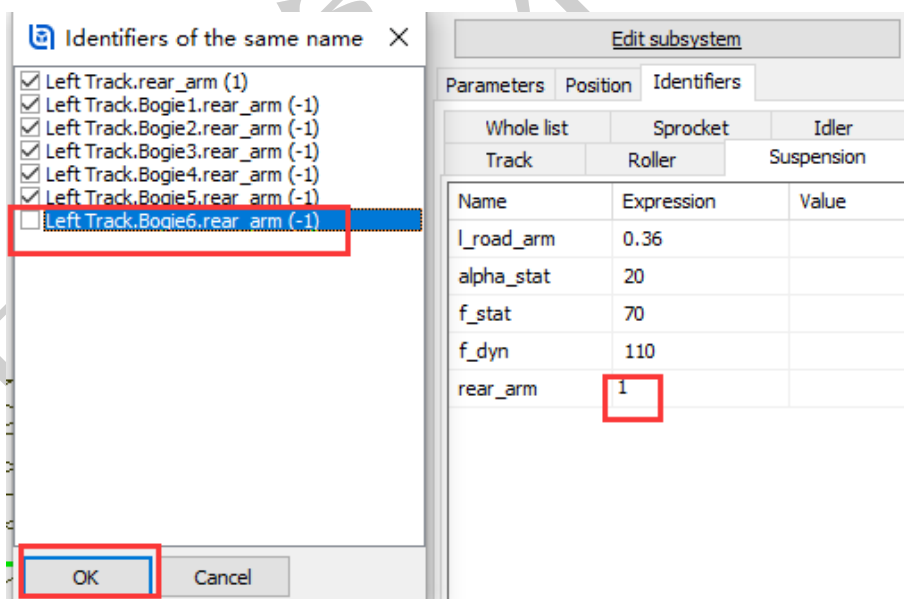


图 1.8

5. 最终各个平衡肘的方位如图 1.9 所示，五个向后，一个向前。

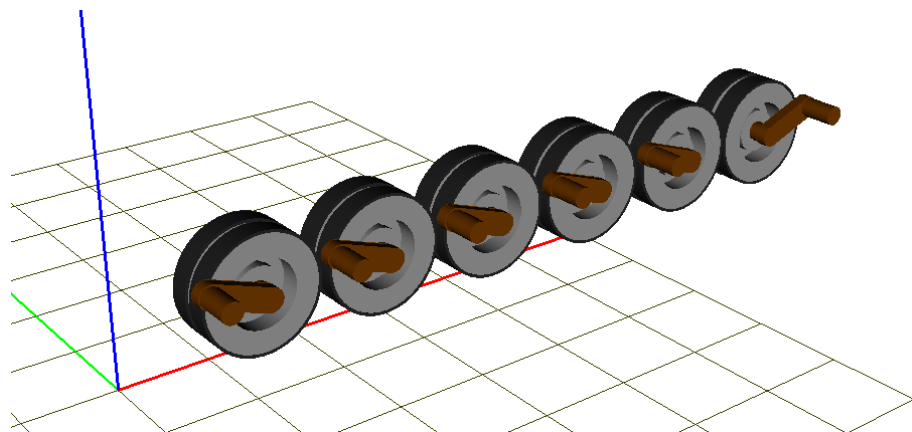




图 1.9

1.5 添加主动轮

1. 转到 **Parameters | Sprocket** 页面，点击  按钮，打开曲线编辑器，再点击  按钮，从本地目录添加主动轮（链轮）齿形文件 {UM Data}\Caterpillar\Profiles\Sprocket1.spf。

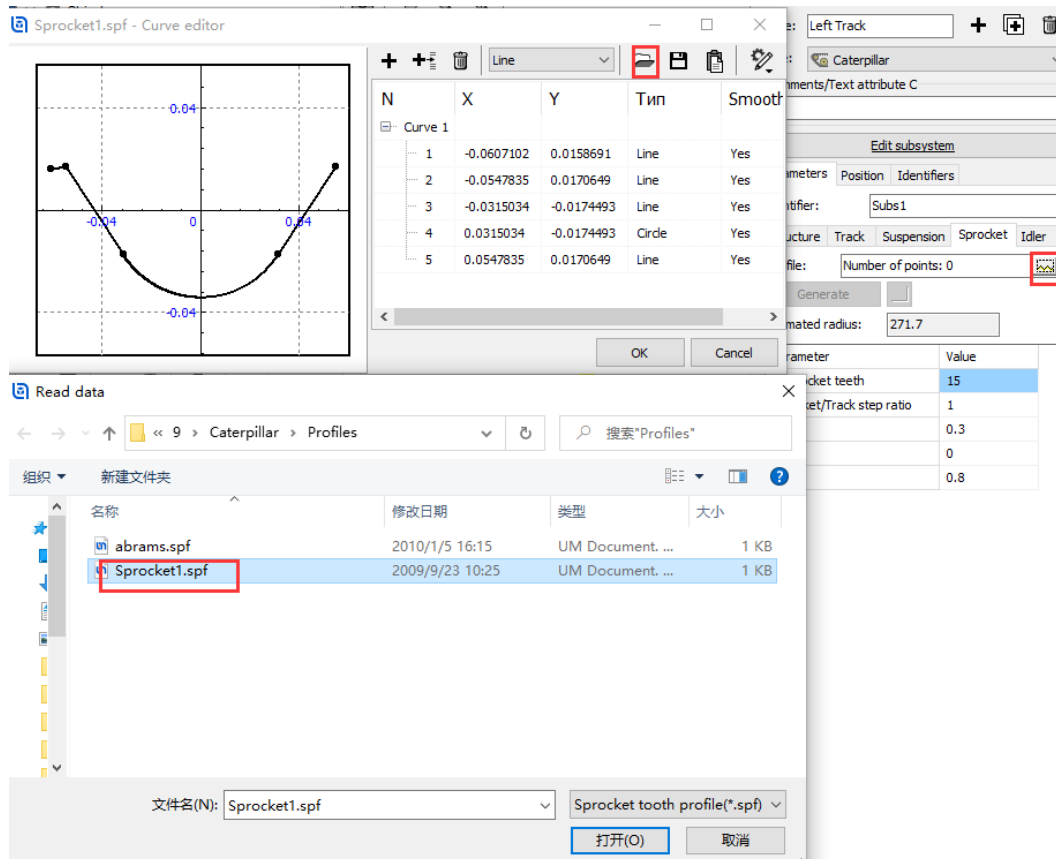



图 1.10

2. 设置主动轮轮心高度 Z_c 值为 **0.6m**，其余参数保持不变，点击  按钮可以预览其三维形状。

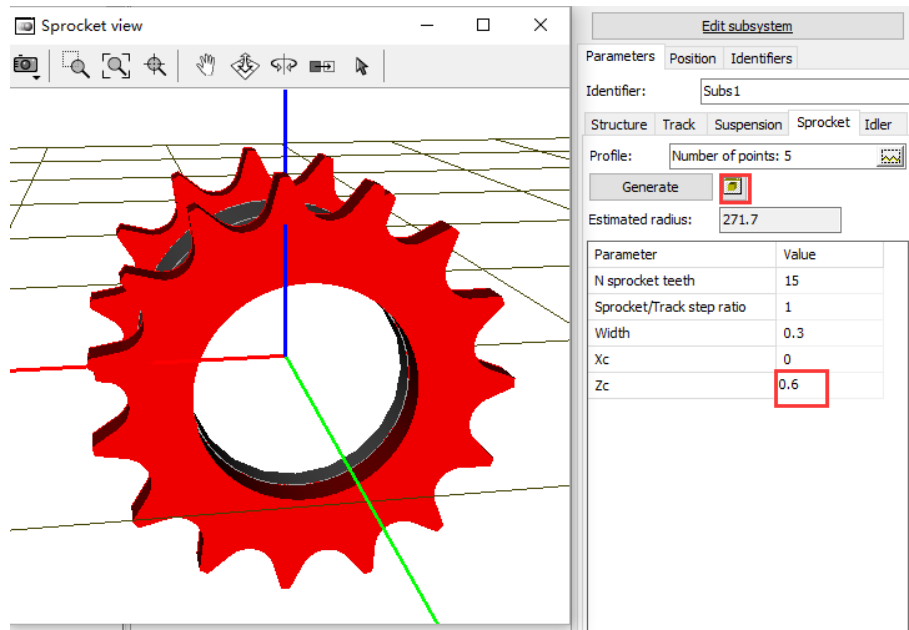


图 1.11

3. 点击 **Generate**，将主动轮添加到当前模型，如图 1.12 所示。

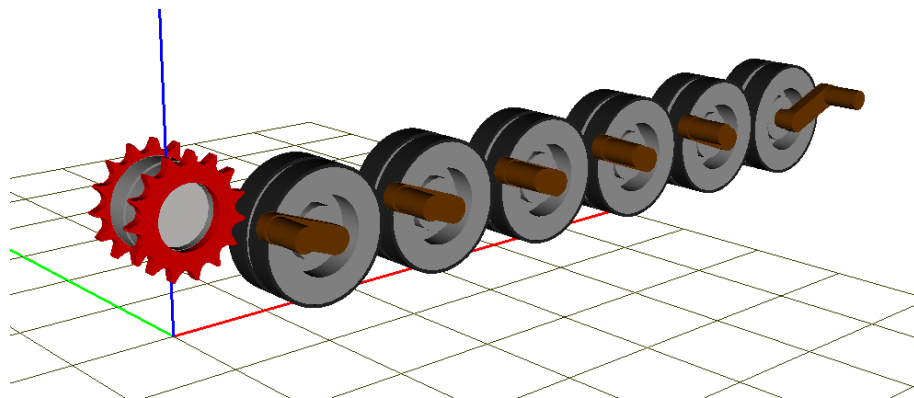


图 1.12

1.6 添加诱导轮

1. 切换到 **Parameters | Idler** 页面，采用缺省诱导轮模型 idler_crank_simple。
2. 按图 1.13 所示，设置其几何和位置参数。

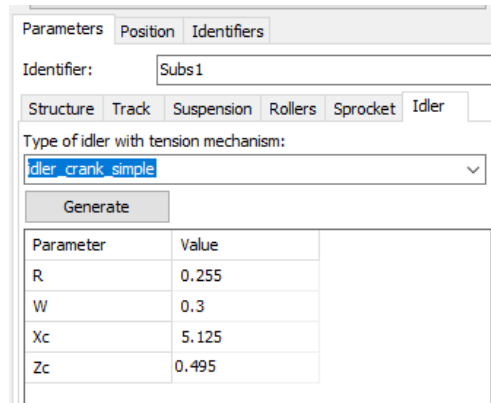


图 1.13

3. 点击 **Generate**，将诱导轮添加到当前模型，如图 1.14 所示。

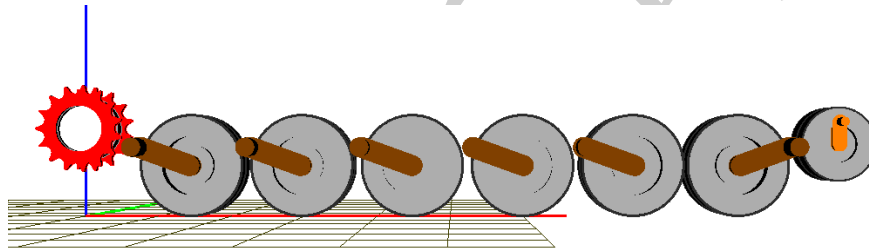


图 1.14

1.7 添加履带环

1. 切换到 **Parameters | Track** 页面，从 **Track link** 下拉菜单选择 **tracklink_bushing** 模型，**Joint type** 设置为 **Flexible**，这是一种单销式挂胶履带。
2. 根据图 1.15 所示设置履带板三个方向的尺寸，程序会自动估计出履带环的周长（约 12m）。

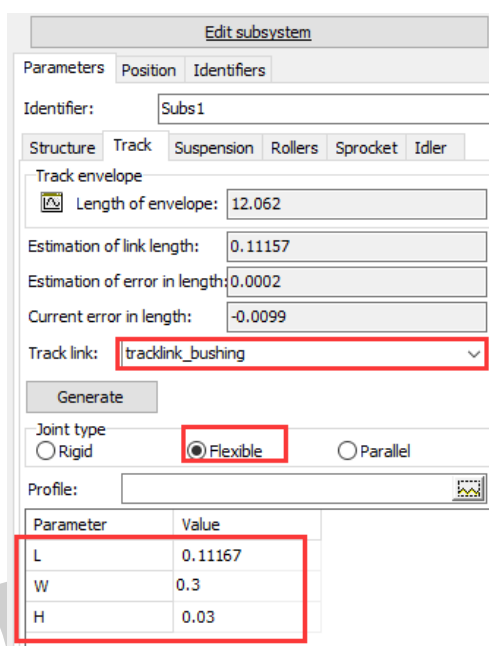


图 1.15

3. 点击 **Generate**，生成履带环，如图 1.16 所示。

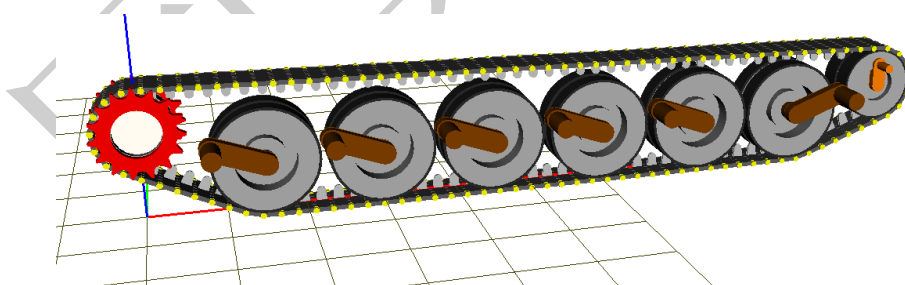


图 1.16

1.8 添加减振器

1. 点击 **Edit subsystem**，进入左侧履带子系统。

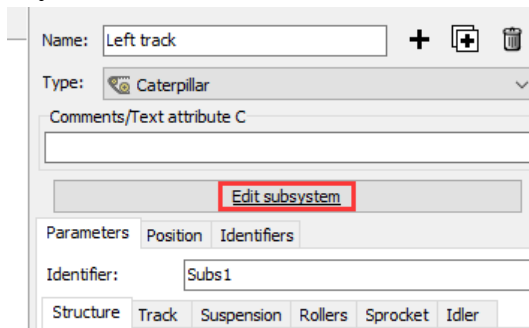



图 1.17

2. 选择菜单 **Edit | Read from file** 或点击工具栏图标 ，从本地目录读入减振器力元文件 {UM Data}\Caterpillar\Dampers\Damper1。

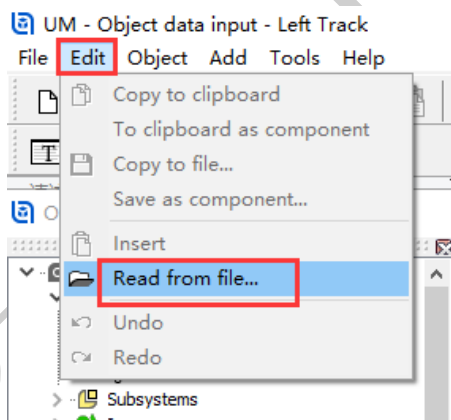


图 1.18

3. 在弹出窗口点击 **Accept**，这样就在子系统里添加了一个 Bipolar force 类型的力元，相应的几何图形添加到了 Images 列表中。

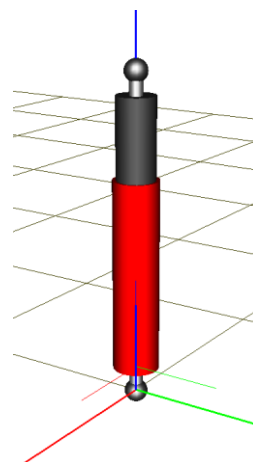
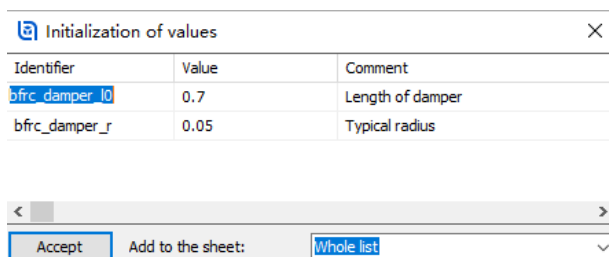


图 1.19

4. 这是事先准备好的一个非线性的减振器力元，如图 1.20 所示，阻尼力是速度相关的函数，与参考文献中的特性曲线（图 1.21）类似。

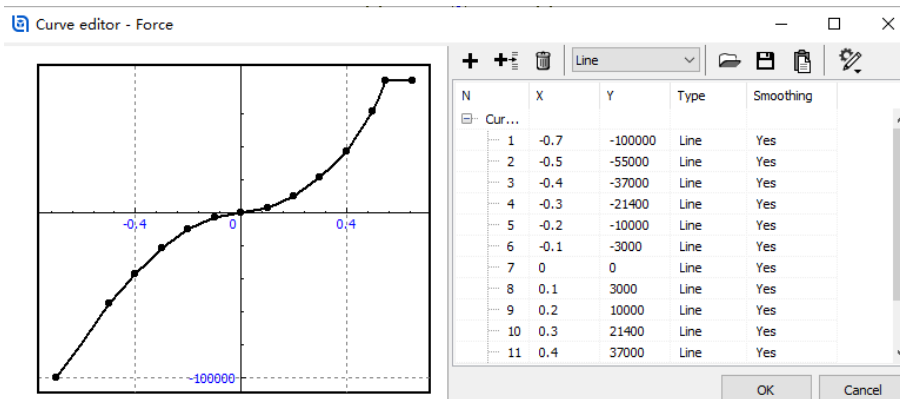


图 1.20

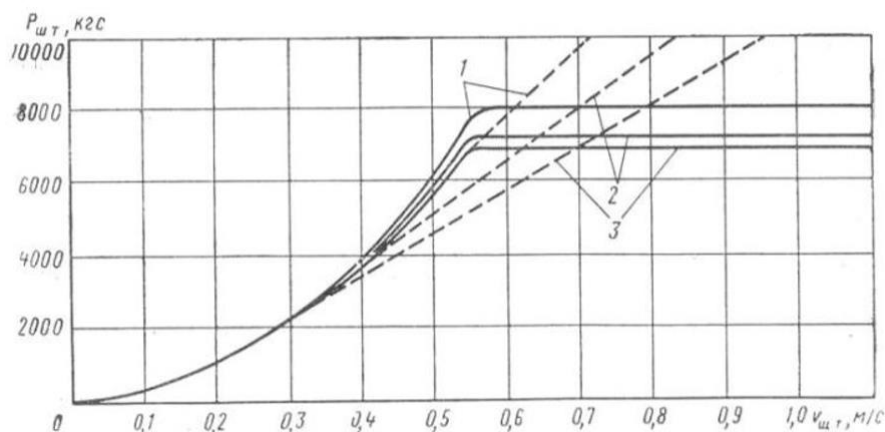


图 1.21

5. 在左侧模型树选中 **Bipolar forces | BFcDamper**，到右侧交互界面重命名为 **Rear damper**，选择 **Local hull** 为 **Body1**，**Bogie6** 子系统里的 **Road arm** 为 **Body2**，并设置两端连接点坐标，如图 1.22 所示。

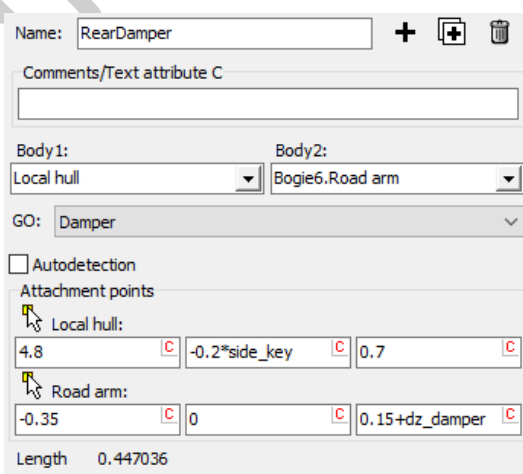



图 1.22

备注:

参数符号 `side_key` 用于确定左右履带减振器的横向位置（左右对称），这里赋值为 1；`dz_damper` 初始设置为 0 即可，本例实际并未使用。

6. 点击  按钮，复制生成一个 Bipolar force，重命名为 **Front damper**，选择 **Bogie1** 子系统里的 **Road arm** 作为 **Body2**，设置两端连接点坐标，如图 1.23 所示。

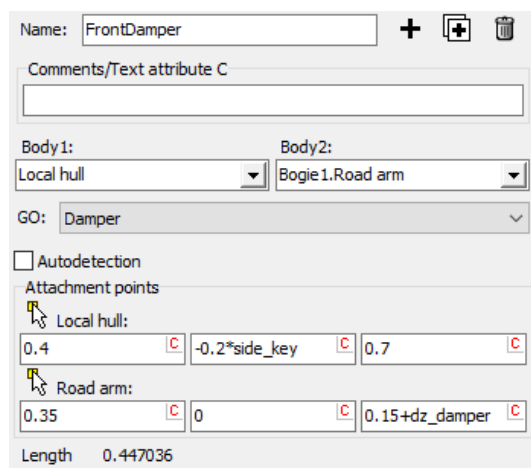


图 1.23

7. 点击 **Accept**，完成对子系统的修改，回到主模型窗口，如图 1.24 所示。

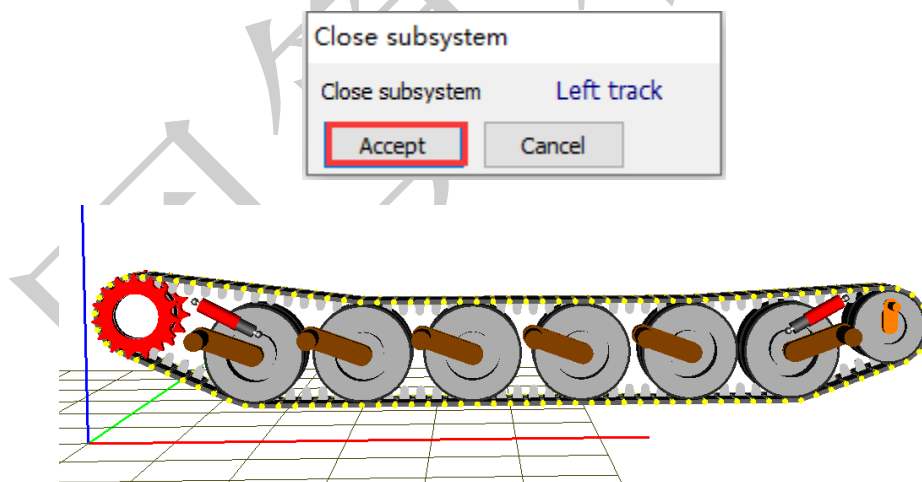


图 1.24

8. 保存模型。

1.9 完成整车建模

下面，我们还需要添加右侧履带和一个车体，才能完成整车建模。

备注：

使用 UM 软件还可以建立发动机、离合器、变速机构、转向机构、制动机构和液力液压元件，本例略。

1.9.1 添加车体

1. 选择菜单 **Edit | Read from file**，从本地目录读入车体几何图形{**UM Data**}\Caterpillar\Images\Hull1.img。

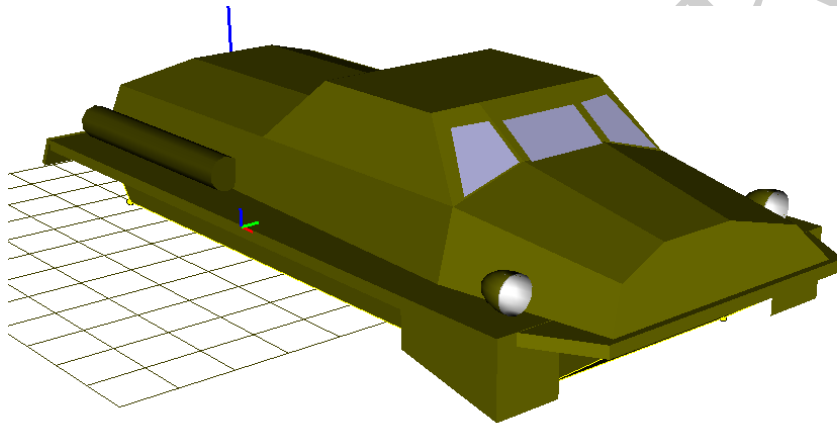


图 1.25

2. 在左侧模型树选中 **Bodies**，到右侧交互界面点击 **+** 按钮，添加一个刚体。
3. 重命名为 **Hull**，从 **Image** 下拉菜单选择刚才导入的几何图形赋给刚体。

4. 设置参数化的刚体的质量、转动惯量和质心坐标参数，如图 1.26 所示。

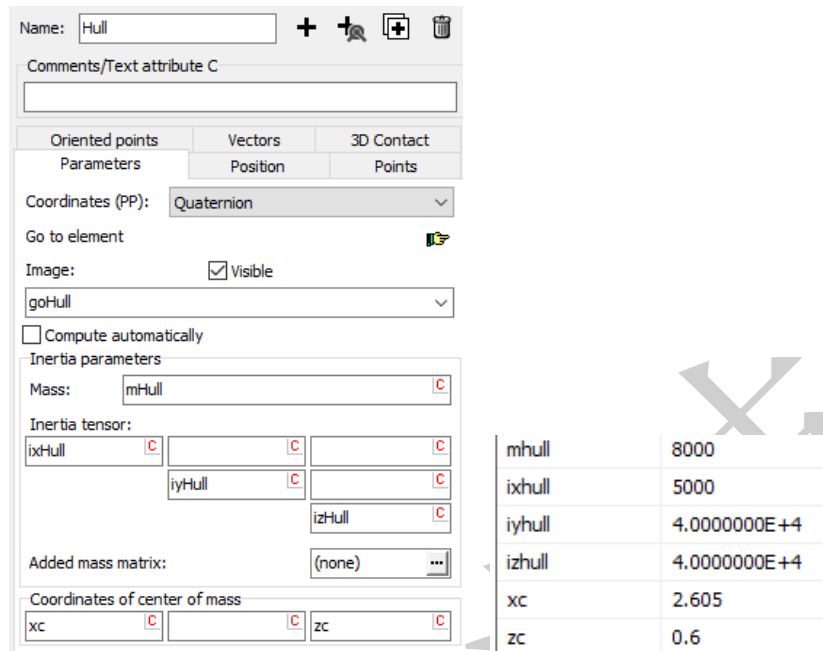


图 1.26

5. 点击  按钮，选择 **Create joint | 6 d.o.f.**，添加一个六自由度铰，自动连接 **Base0** 和 **Hull**。

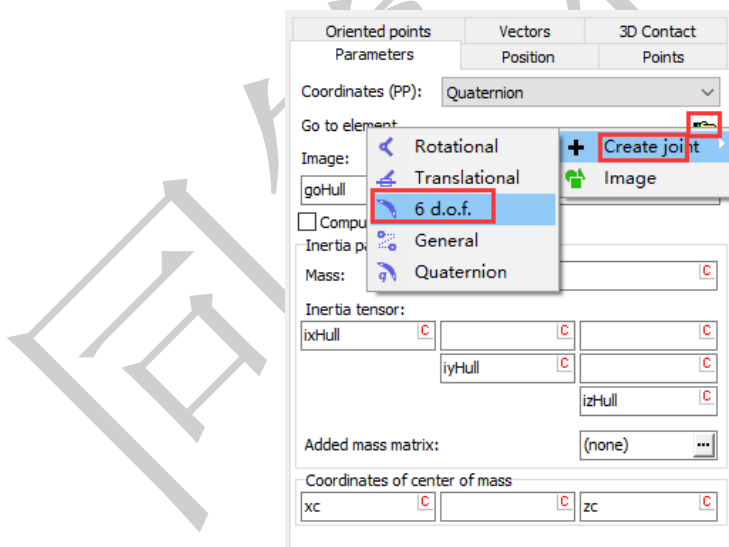


图 1.27

6. 在 **Coordinate** 页面，选择方向角为卡尔丹角（3，1，2）。

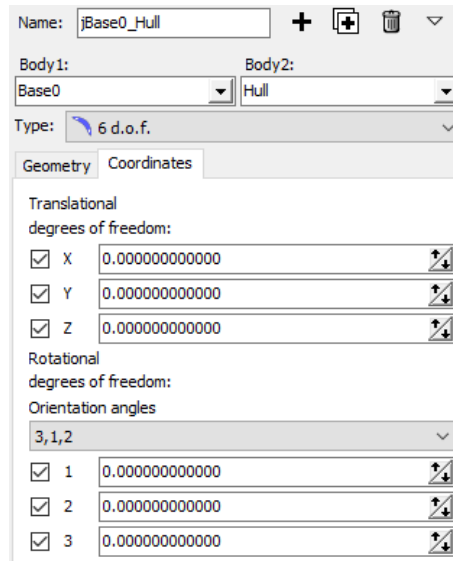


图 1.28

备注：

我们不推荐使用欧拉角（如：3，1，3 或 1，2，1 等），因为当车体的第二次有限转动为 0° 时，第一次和第三次有限转动轴重合，就会发生奇异（无穷多个组合）；而卡尔丹角，则在第二次有限转动 90° 时，会发生奇异。对于车辆动力学仿真，推荐使用（3，1，2）转动顺序的卡尔丹角。而对于一个空间姿态是任意的自由刚体，则需要使用欧拉四元素铰。

1.9.2 连接车体和行动装置

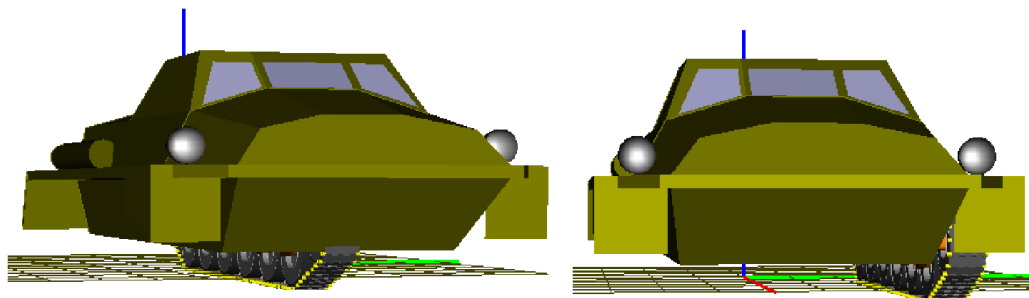


图 1.29

此时，车体和行动装置并未连接起来（无相互作用），如图 1.29（左）所示。在每个履带子系统里有一个虚拟的车体 Local hull，需要将其与实际的车体 Hull 固结。

在 UM 里可以通过多种方法实现：如添加一个 0 自由度的铰，或添加一个不含自由度的广义铰。

1. 在左侧模型树选中 **Joints**，到右侧交互界面点击按钮 **+**，添加一个铰。
2. 选择 **Hull** 作为 **Body1**，选择 **Left track** 子系统里的 **Local hull** 作为 **Body2**。
3. 从 **Type** 下拉菜单选择 **Generalized** 类型，点击按钮 **+** 添加一个 **ET**（基本变换），选择 **tc**（平动定值），并设置横向移动量为 **gauge/2**，在弹出窗口给参数符号 **gauge** 赋值 **2.6m**。

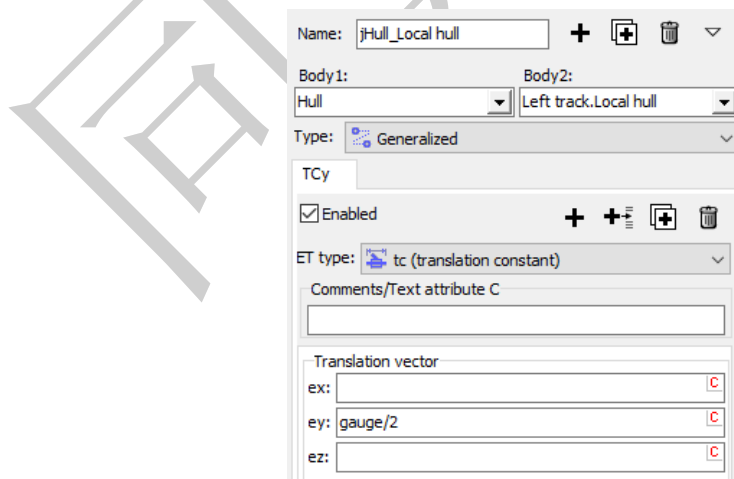



图 1.30

这样，我们就将左侧履带与车体连接好了。

1.9.3 添加右侧履带

下面，我们来创建右侧履带。

1. 在左侧模型树选中 **Left caterpillar** 子系统，到右侧交互界面点击按钮, 复制生成一个履带子系统，重命名为 **Right track**。
2. 在 **Parameters | Structure** 页面，选择 **Track position** 为 **Right**。

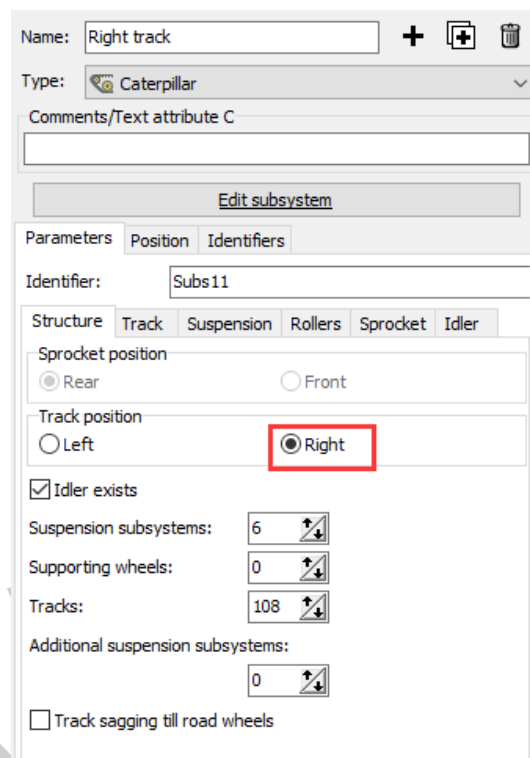


图 1.31

3. 在 **Identifiers | Whole list** 页面，找到参数符号 **side_key**，将其修改为-1，在弹出窗口取消选择所有左侧履带相关的参数（缺省为全选），然后点击 **OK**。

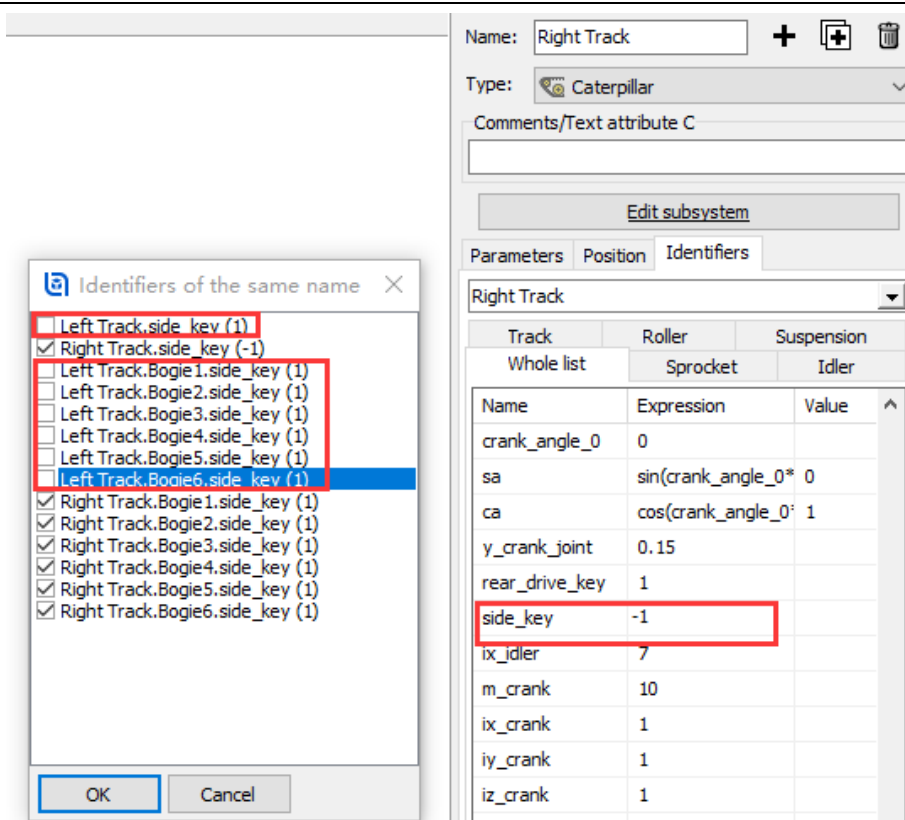


图 1.32

4. 用前面一样的方法将车体和右侧履带连接起来（注意添加负号）。

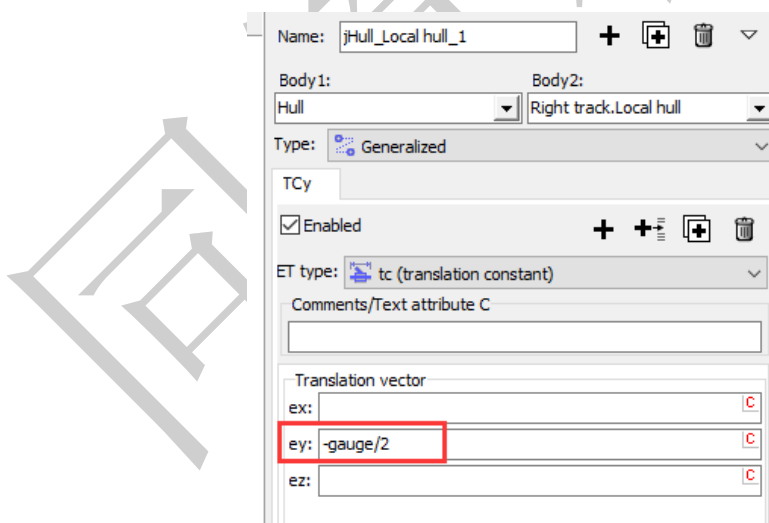


图 1.33

1.9.4 调整垂向位置

此时，建模工作已基本完成。但是，从左视图或右视图可以看到，履带着地部分却位于水平面（ $Z=0$ ）以下，如图 1.34 所示。为防止在计算初始出现较强

的瞬态变化过程（履带板与地面接触作用），我们建议将车辆整体向上移动一定距离。

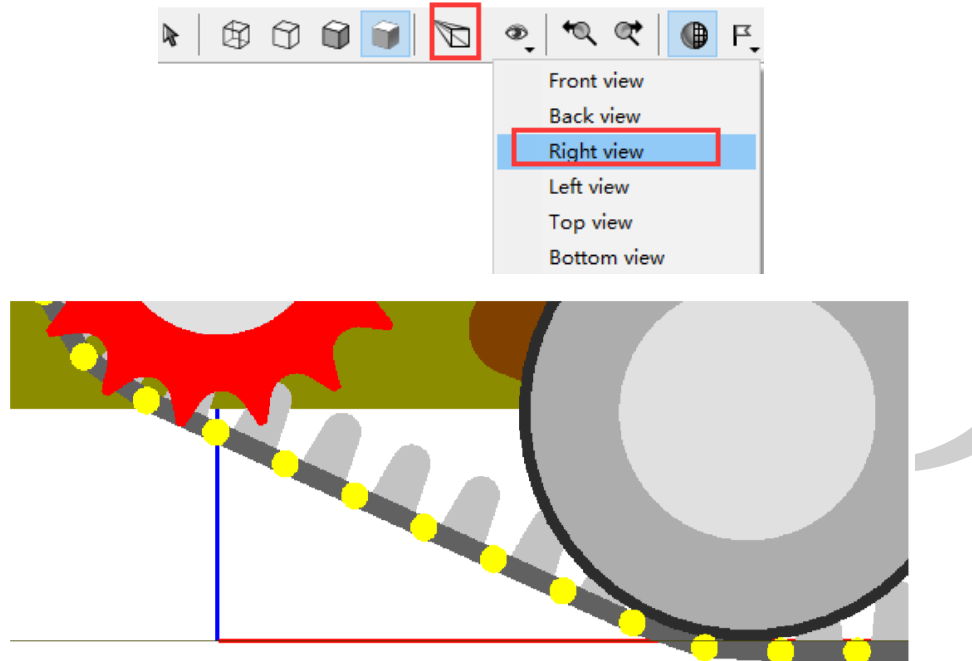


图 1.34

在左侧下方的参数符号表点右键，选择菜单 **Add from subsystem**，从 **Left track** 或 **Right track** 中找到参数符号 **htracklink**，其值为 **0.03m**，通过单击操作将其添加到主模型列表。

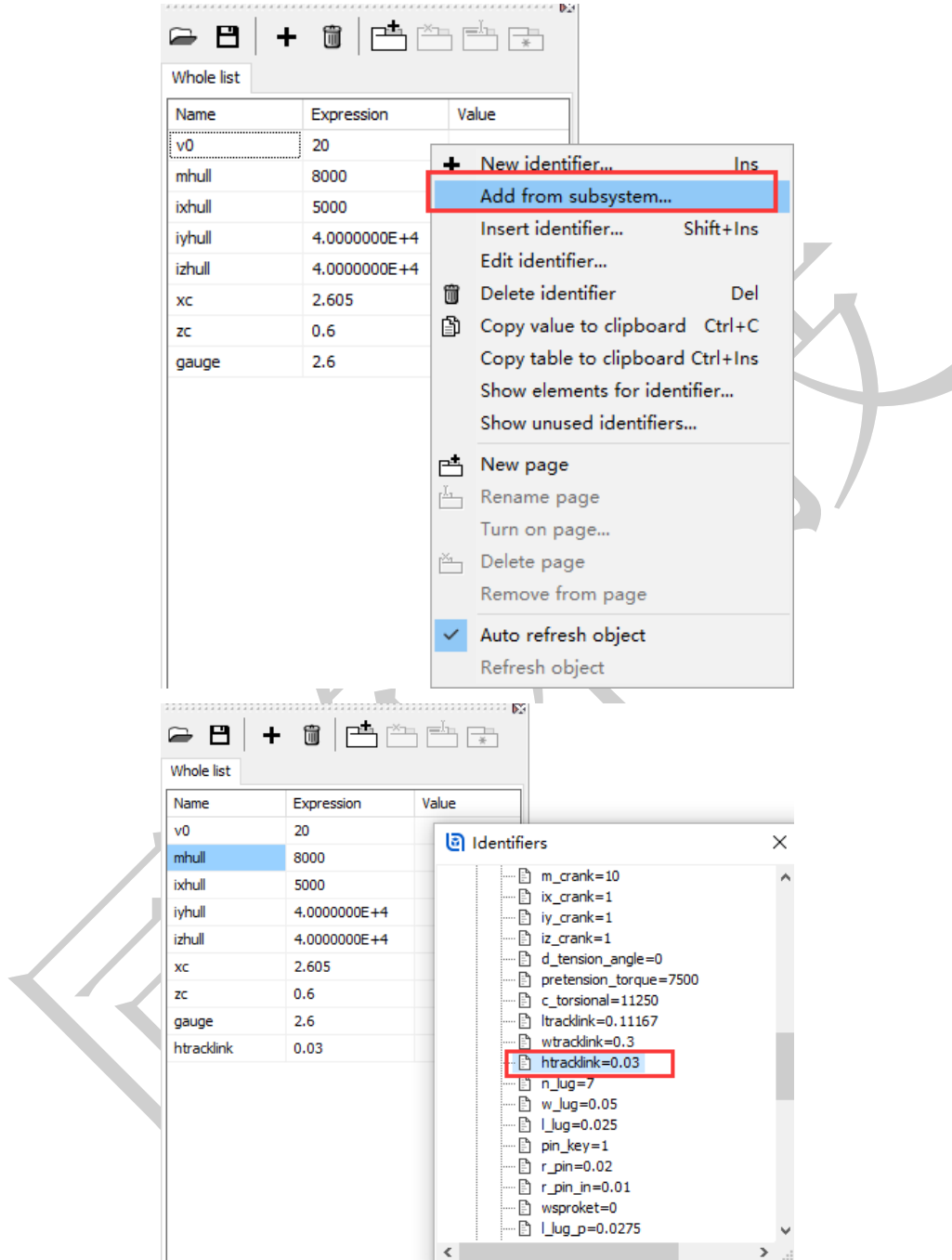


图 1.35

定位到车体（Hull）和地面（Base0）相连的铰，在 **Body1** 的 **Z** 坐标处输入 **htracklink**。这样，就把车体相对总体坐标系提高了 **0.03m**，由于车体和履带子系统里的虚拟车体是固结的，因此两个履带子系统也自动随之上移，无需单独设置。

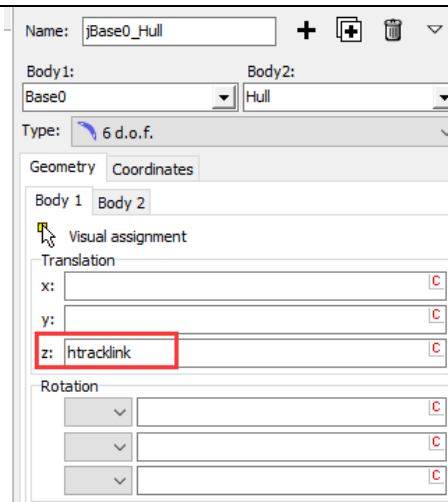


图 1.36

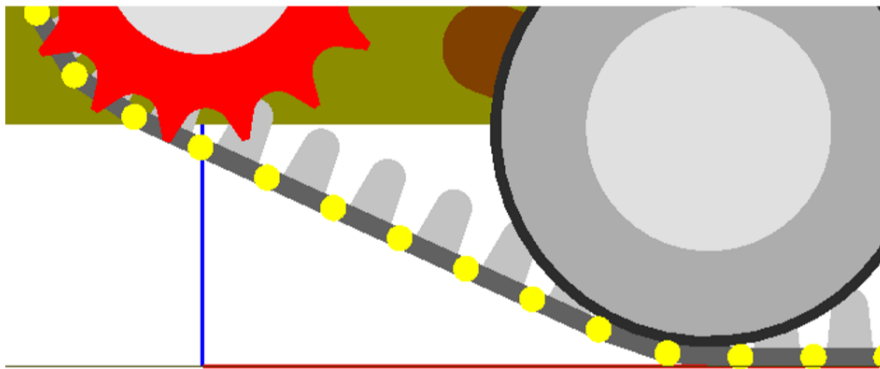


图 1.37

至此，最终完成建模工作，模型如图 1.38 所示。

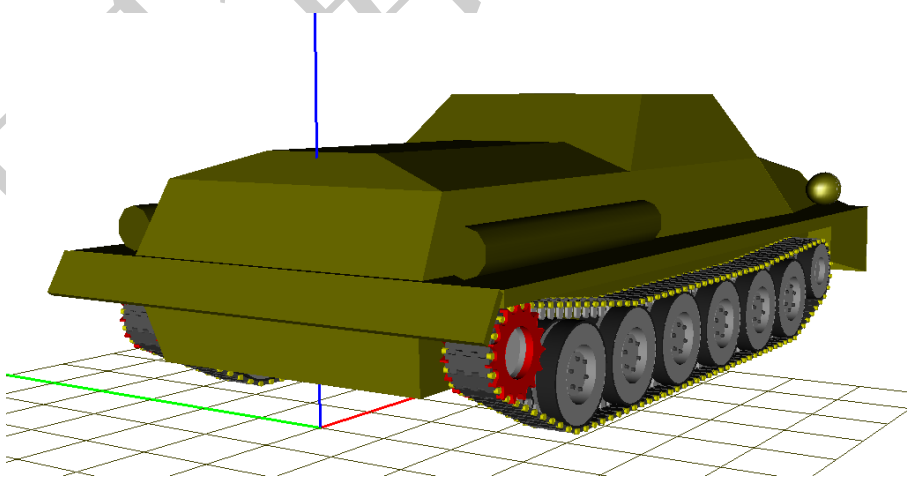


图 1.38

2. 履带车辆动力学仿真

2.1 说明

UM 履带车辆模型中每个履带板都作为一个六自由度刚体，因此整车模型的自由度数通常非常大。本例模型就有 1332 个自由度，我们推荐使用多线程并行计算方法 **Park parallel**。

我们在建模过程中采用了参数化的方法，但有些参数（如：车轮半径、车轮中心坐标、履带板尺寸等）在仿真界面是不能随意修改的，因为这些参数决定了行动装置的基本构造。

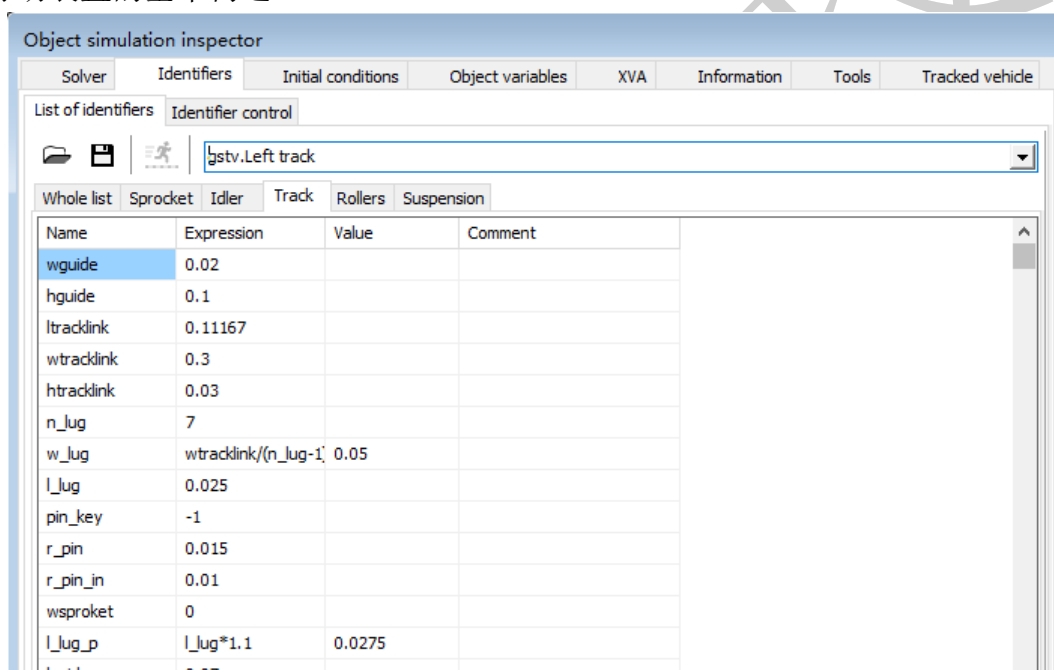


图 2.1

其他不影响模型构造的参数是可以随意修改的，如质量、转动惯量、刚度和阻尼系数等。请注意，修改这些参数并不需要回到 UM Input 程序，直接在仿真控制界面的 **Identifiers** 页面修改即可，还可将不同参数配置分别保存为 **.par** 格式文件，以用于后期不同的仿真工况。

用户也可以通过菜单 **File | Save configuration** 操作来保存工况配置，在以后仿真时可通过菜单 **File | Load configuration** 加载某一个工况配置。这些配置包括初始条件、参数符号值、求解选项、桌面绘图和动画窗口布置等。

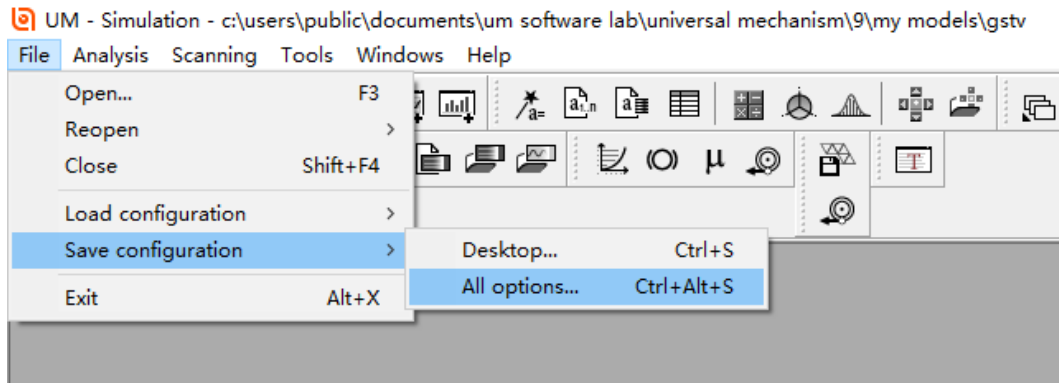


图 2.2

2.2 模型调试

在正式进行履带车辆动力学仿真前，一般要做一些辅助测试(如：履带张紧、计算平衡位置和初始速度)，将模型调试好。

2.2.1 计算平衡位置

建模完成后，通常进行的第一项调试工作是计算整个系统的平衡位置。在计算开始前，用户需要设置好某些参数值。其中最关键的是每个负重轮的静轮重，参数符号为 p_stat 。

1. 运行 **UM Simulation** 程序，加载 **gsTV** 履带车辆模型。
2. 选择菜单 **Analysis | Simulation** (或按 **F9** 键)，打开仿真控制界面 (Object simulation inspector)。
3. 定位到 **Identifiers** 页面，从下拉菜单点开任意一个履带负重轮的子系统，找到参数符号 p_stat ，将其设置为 **7000N**，在弹出窗口保持缺省的全选，点击 **OK**。

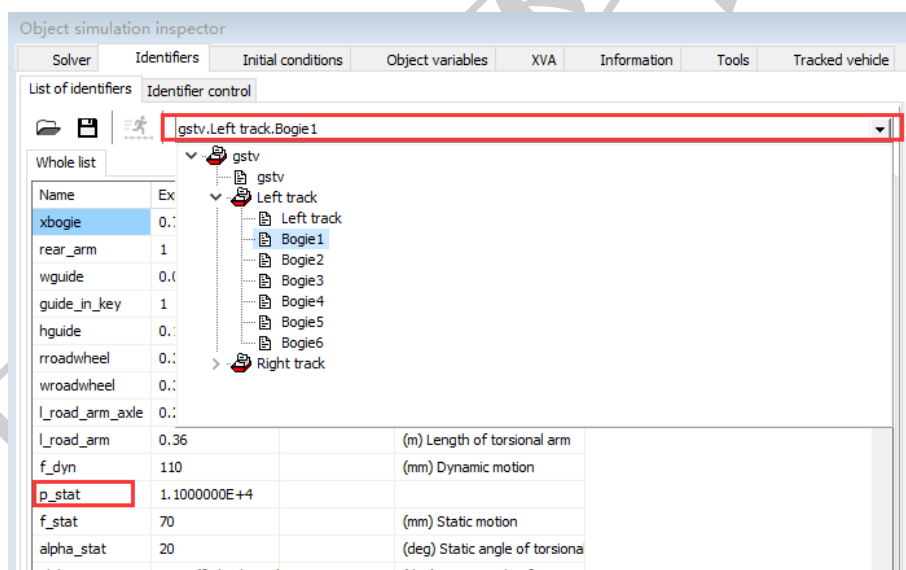


图 2.3

4. 定位到 **Tracked vehicle | Tests** 页面，缺省就是平衡位置试验 **Equilibrium test**。此处有两个子页面，**Parameters** 页面指定判断系统达到平衡位置的条件，如图 2.4 所示，表示系统总动能若在连续 0.5s 之内都小于 0.1J，则认为达到平衡，且最短计算时间为 1s。
5. 勾选 **Save coordinates when test finishes**，程序会自动将计算得到的平衡状态的坐标保存到初始条件 **Initial conditions**，否则需要手动保存和读取 **.xv** 文件。

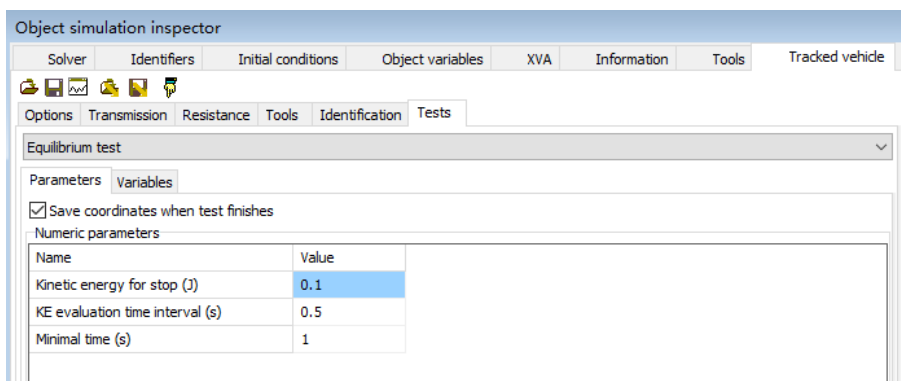


图 2.4

在 **Variables** 页面有一个 **Kinetic energy** 变量，它用来测量系统的总动能。

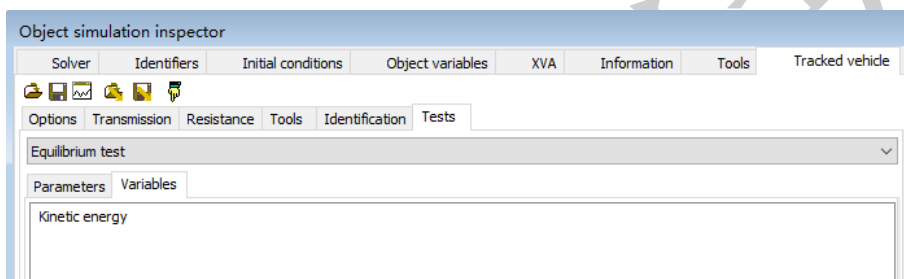


图 2.5

6. 选择菜单 **Tools | Graphic window**，打开一个绘图窗口。
7. 将变量 **Kinetic energy** 拖入绘图窗口。
8. 在 **Solver** 页面，设置求解器参数，如图 2.6 所示。

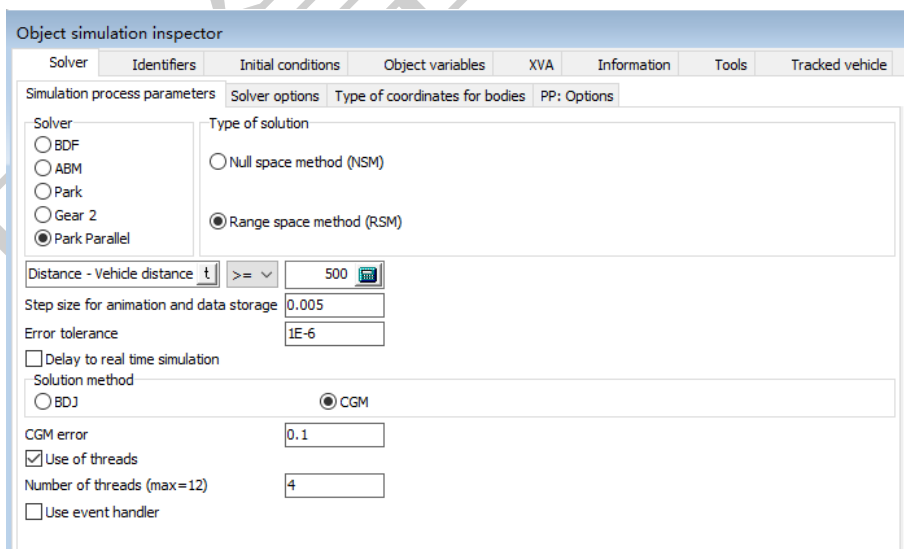


图 2.6

9. 点击 **Integration**，开始计算，直到提示系统达到平衡位置，系统总动能时程曲线如图 2.7 所示。

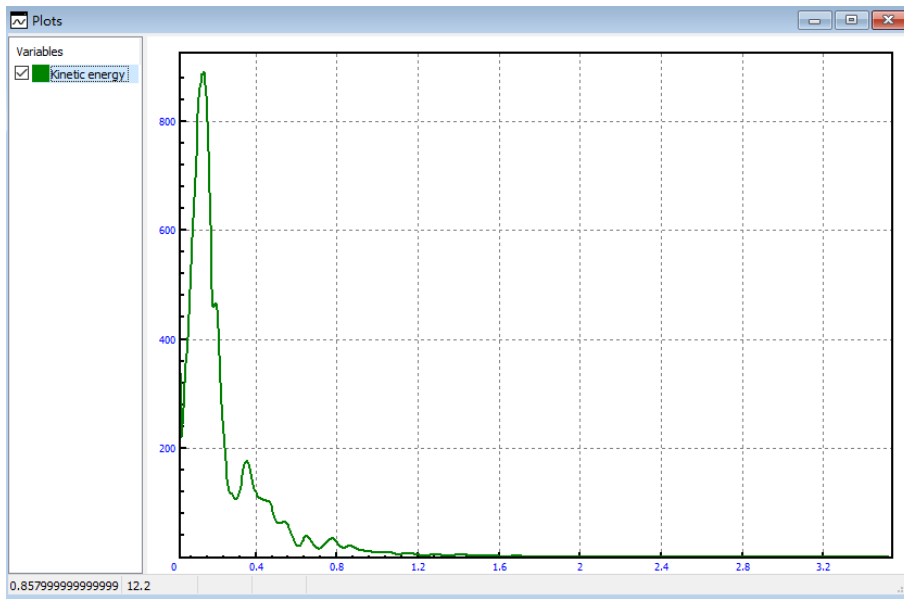


图 2.7

10. 依次点击**确定**，**Interrupt**，**确定**，程序自动保存平衡位置到初始条件。

Object simulation inspector

Solver Identifiers Initial conditions Object variables XVA Information Tools Tracked vehicle

Coordinates Constraints on initial conditions

gstv.

	<input checked="" type="checkbox"/>	Coordinate	Velocity	Comment
1.1	<input checked="" type="checkbox"/>	0.00229006980717	0	j Hull 1c
1.2	<input type="checkbox"/>	1.78247796805E-13	0	j Hull 2c
1.3	<input type="checkbox"/>	-0.0358782084993	0	j Hull 3c
1.4	<input type="checkbox"/>	-6.38078483638E-15	0	j Hull 4a
1.5	<input type="checkbox"/>	2.65182714865E-13	0	j Hull 5a
1.6	<input type="checkbox"/>	-0.00378569352708	0	j Hull 6a
1.7	<input type="checkbox"/>	0.000355465430619	0	Left Track,jTension crank 1a
1.8	<input type="checkbox"/>	-0.0673741449486	0	Left Track,jIdler_Tension crank 1a
1.9	<input type="checkbox"/>	2.67038829979	0	Left Track,jTrack link1 1c
1.10	<input type="checkbox"/>	1.08551738632E-5	0	Left Track,jTrack link1 2c
1.11	<input type="checkbox"/>	0.012176929102	0	Left Track,jTrack link1 3c
1.12	<input type="checkbox"/>	-1.1929808391E-6	0	Left Track,jTrack link1 4a
1.13	<input type="checkbox"/>	2.98551375793E-5	0	Left Track,jTrack link1 5a
1.14	<input type="checkbox"/>	-0.0214667041542	0	Left Track,jTrack link1 6a
1.15	<input type="checkbox"/>	2.78209752148	0	Left Track,jTrack link2 1c
1.16	<input type="checkbox"/>	1.06042917631E-5	0	Left Track,jTrack link2 2c
1.17	<input type="checkbox"/>	0.0153543651718	0	Left Track,jTrack link2 3c
1.18	<input type="checkbox"/>	-1.01751888808E-6	0	Left Track,jTrack link2 4a
1.19	<input type="checkbox"/>	2.74578457889E-5	0	Left Track,jTrack link2 5a
1.20	<input type="checkbox"/>	-0.0352931285297	0	Left Track,jTrack link2 6a
1.21	<input type="checkbox"/>	2.89368579493	0	Left Track,jTrack link3 1c
1.22	<input type="checkbox"/>	1.05997811578E-5	0	Left Track,jTrack link3 2c
1.23	<input type="checkbox"/>	0.0134792859045	0	Left Track,jTrack link3 3c
1.24	<input type="checkbox"/>	-1.8471507626E-7	0	Left Track,jTrack link3 4a
1.25	<input type="checkbox"/>	2.42354895498E-5	0	Left Track,jTrack link3 5a
1.26	<input type="checkbox"/>	0.0692561114223	0	Left Track,jTrack link3 6a
1.27	<input type="checkbox"/>	3.00532136058	0	Left Track,jTrack link4 1c

Message dx= 0.1 da= 0.1

Integration Message Close

图 2.8

平衡位置计算前后对比如图 2.9 所示。

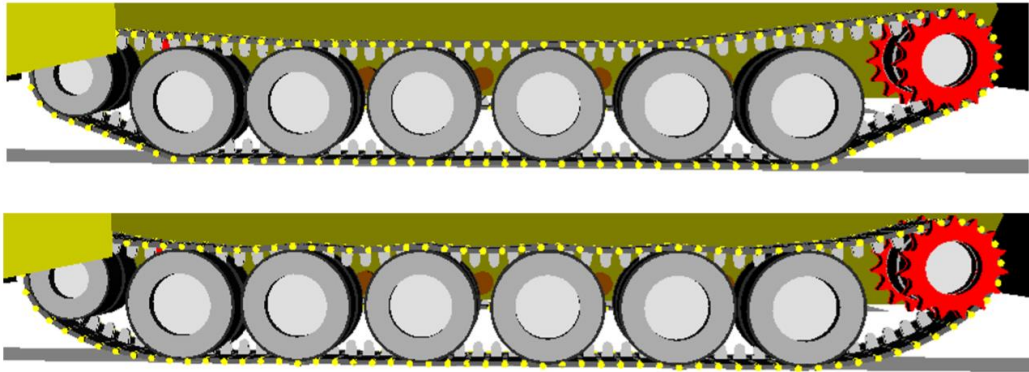


图 2.9

2.2.2 履带张紧测试

在 **Tests** 列表中选择“**Tension by joint preload**”。通过计算，可以获得相邻履带板之间挂胶铰链（**Bushing**）的预张力。请注意，列表中还有一个名为“**Track tension**”的试验，这种方法只适用于采用金属铰链（刚性）的履带结构。

- 按图 2.10 所示，在 **Parameters** 页面设置履带张紧试验的参数，表示从 **0s** 开始加载，初始载荷为 **10kN**，终了载荷为 **45kN**，每秒的载荷增量为 **3kN**。

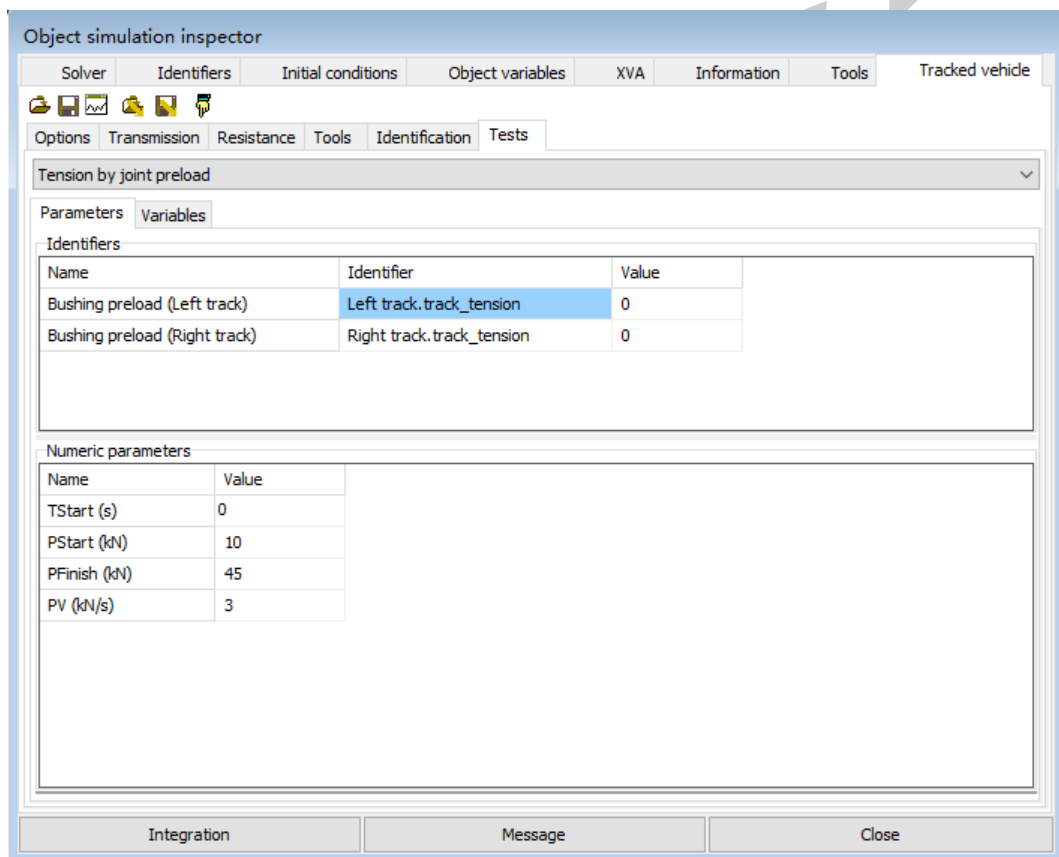


图 2.10

2. 打开一个绘图窗口，将 **Variables** 页面的 **Joint preload (Left track)** 和 **Average tension (Left track)** 两个变量拖入其中。
3. 在绘图窗口选中变量 **Joint preload (Left track)**，点右键，选择菜单 **Use variable for X-axis values**，将履带预张力作为横坐标。

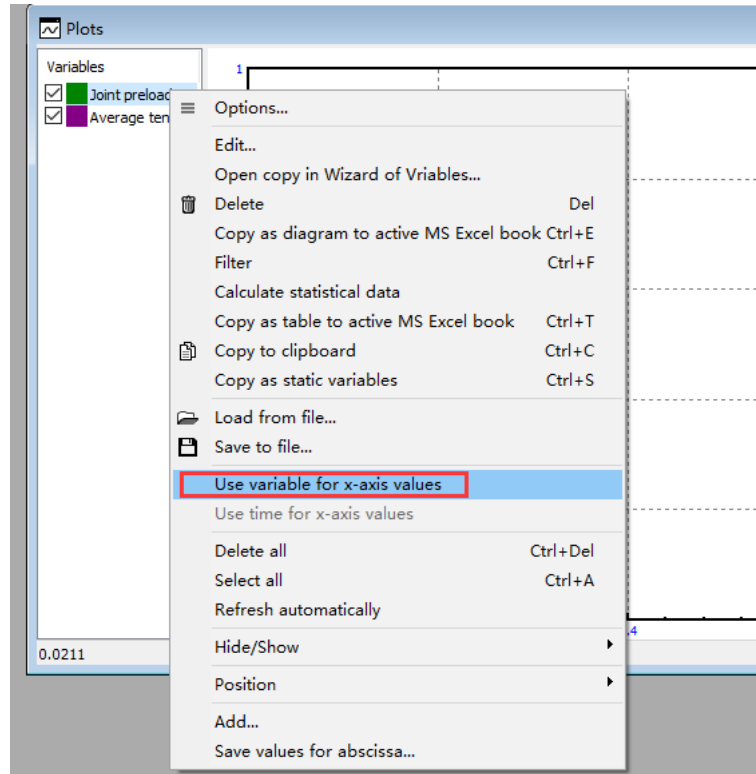



图 2.11

在仿真控制界面的 **Solver** 页面，点击按钮 ，将仿真终止条件设置为时间，并设定 **12s**。
点击 **Integration** 或按 **F9** 键，开始计算。

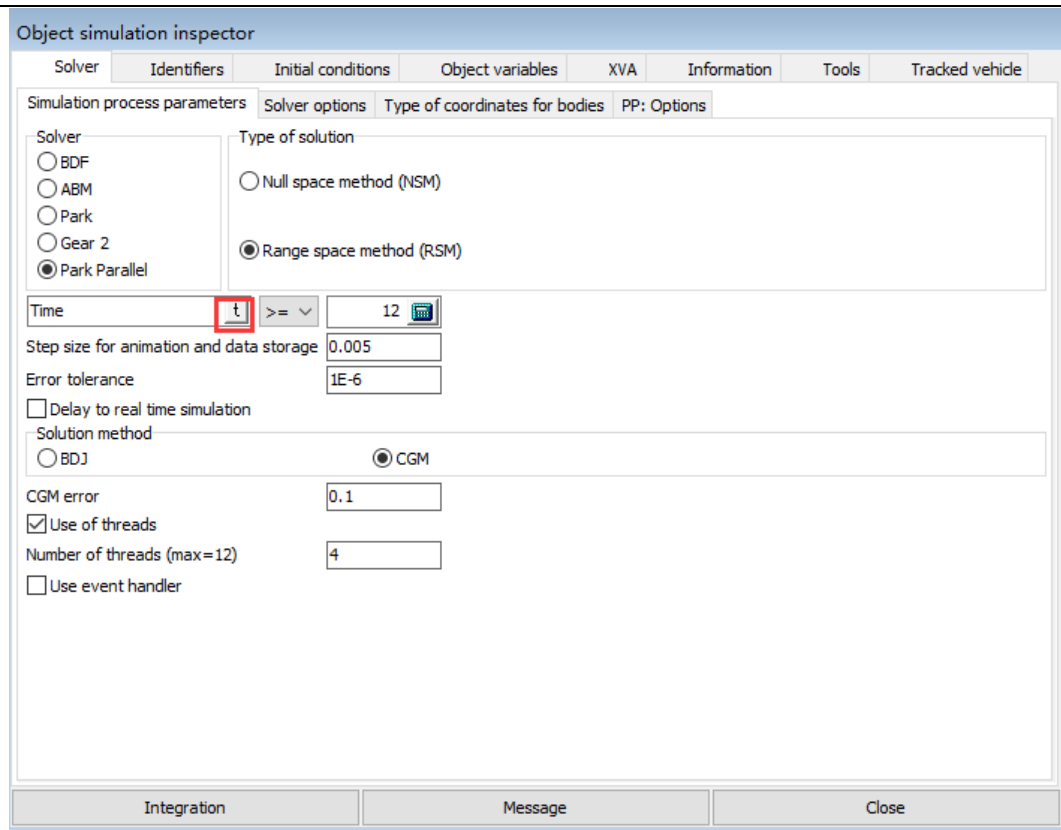


图 2.12

计算完毕后得到如图 2.13 所示的曲线。

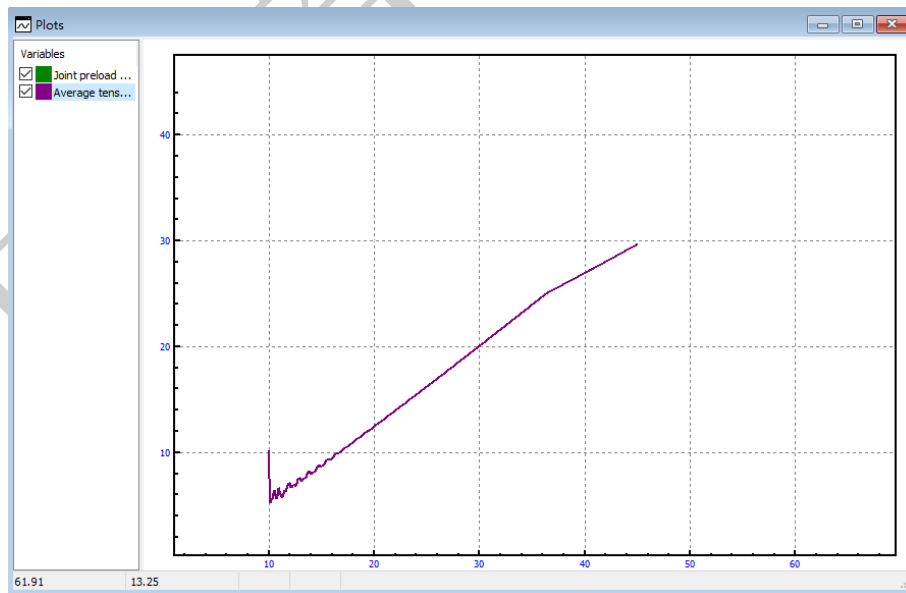


图 2.13

结果分析：曲线主要由两个不同斜率的线段组成，第一段（预张力小于 36.5kN），此时张紧装置受力小于张紧弹簧的预张力，一旦进入第二段，张紧弹簧开始变为受压状态。在本例模型中张紧弹簧的预张力为 50kN，可从图 2.14 看出。

同算科技

备注:

读者可以中断当前仿真后,再按图 2.14 和图 2.15 所示定义相关变量,并设置 Joint preload 为横坐标。

在绘图窗口左侧变量列表,点右键,选择菜单 Position-Top,可以将变量列表转到绘图区上部。

在绘图窗口点右键,选择菜单 Options,弹出绘图窗口参数,在 Axles-Marking 页面可以自定义横坐标和纵坐标的刻度(先取消 Automatic scale 自动模式)。

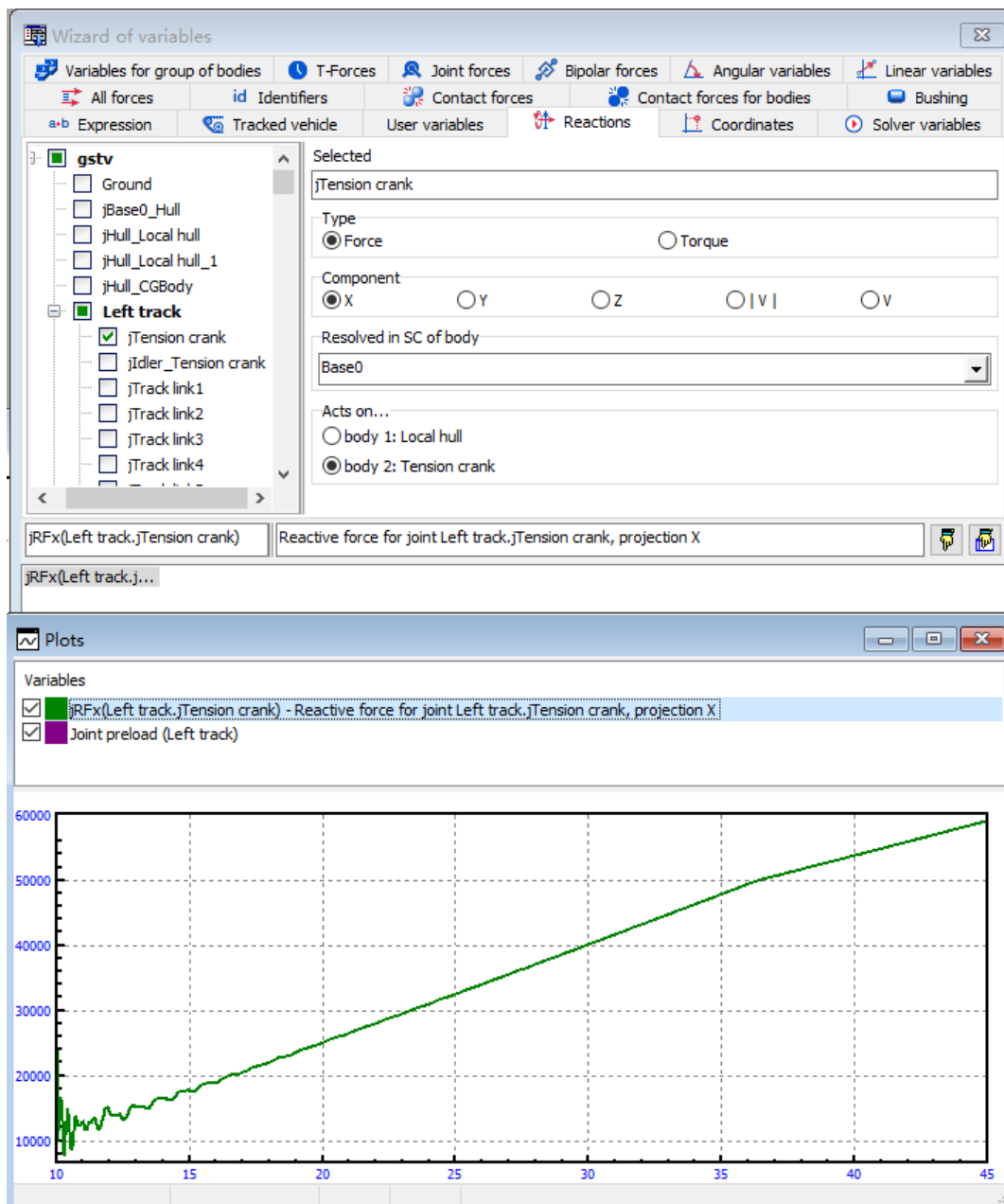


图 2.14

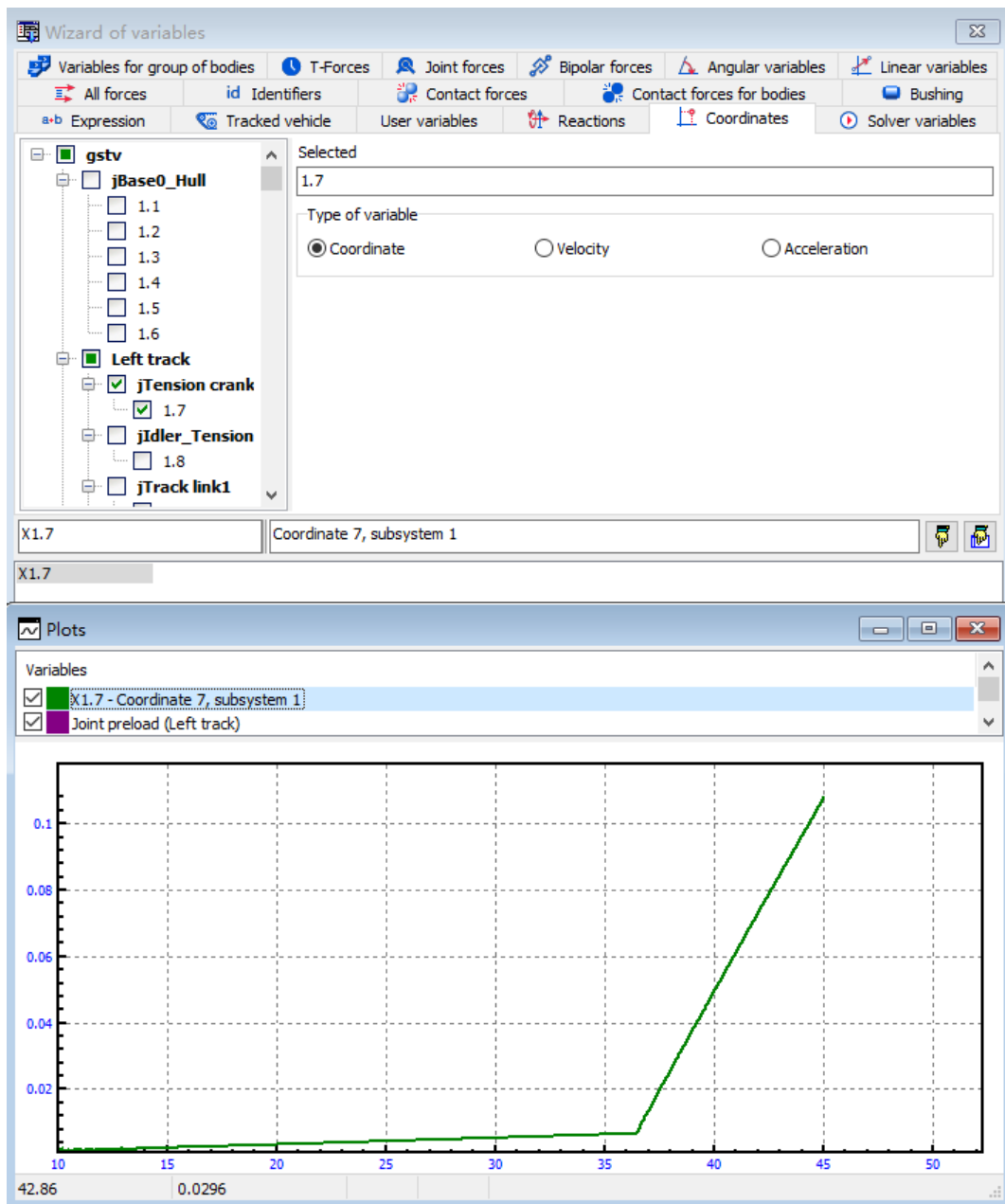


图 2.15

因此，根据图 2.13，假设张紧装置预张力为 20kN，则履带预张力为 30kN。

点击 **Interrupt**，中断仿真，在 **Tracked vehicle | Options | General** 页面，设置左右履带的预张力为 **30kN**。

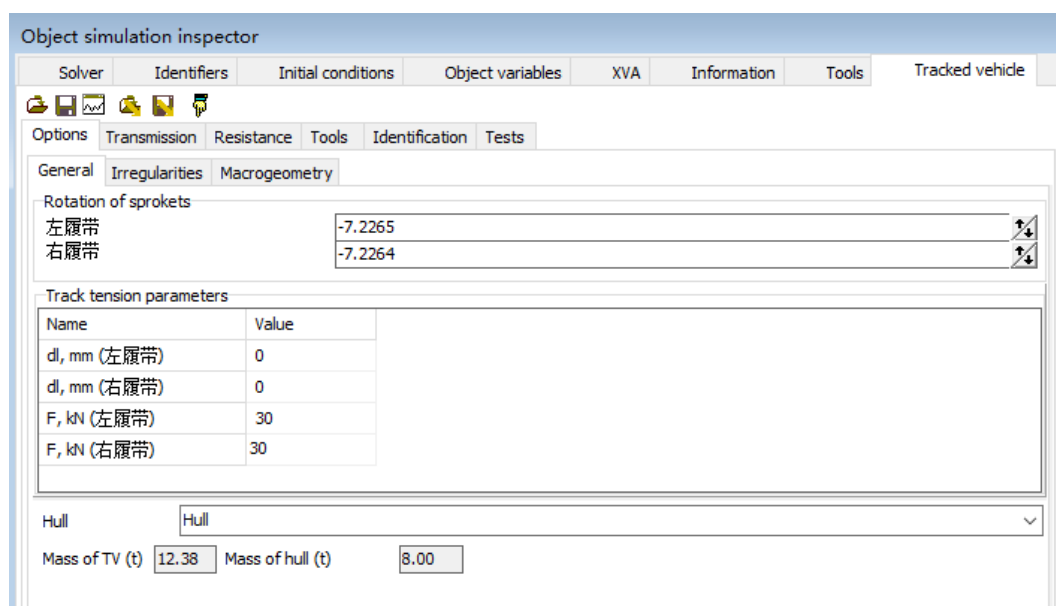


图 2.16

显然，预张力的大小能反映履带的松弛程度，因此系统的平衡位置并不相同，需要重新计算平衡位置。

从 **Tests** 下拉列表选择 **Equilibrium test**。

大约完成 10s 左右的时域计算后，系统达到新的平衡状态，如图 2.17 所示。

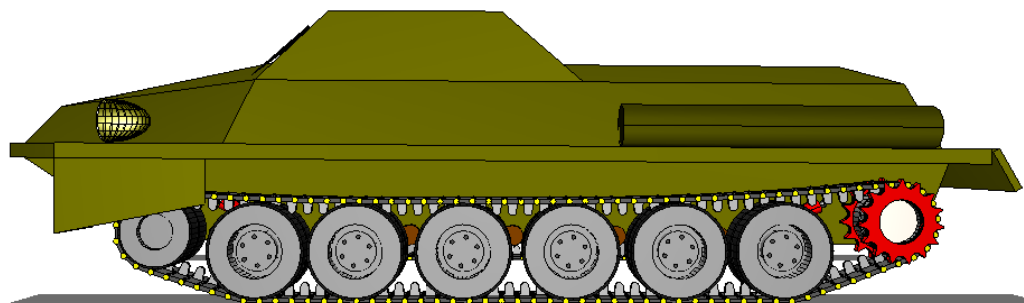


图 2.17

点击 **Interrupt-确定**，程序自动将当前平衡位置保存为初始条件。

2.2.3 垂向谐载测试

通过施加一定幅值和频率的垂向谐振载荷，可以获得履带车辆悬挂系统的垂向非线性特征。

从 **Tests** 下拉菜单选择 **Vertical harmonic loading**，在 **Parameters** 页面设置激励幅值为 **220kN**，频率为 **0.1Hz**。

打开一个绘图窗口，将 **Variables** 页面的两个标准变量拖入其中，并设置 **Suspension movement** 为横坐标。

计算结果如图 2.18 所示，与之前定义的动行程 **110mm**（参数符号 **f_dyn**）相吻合。

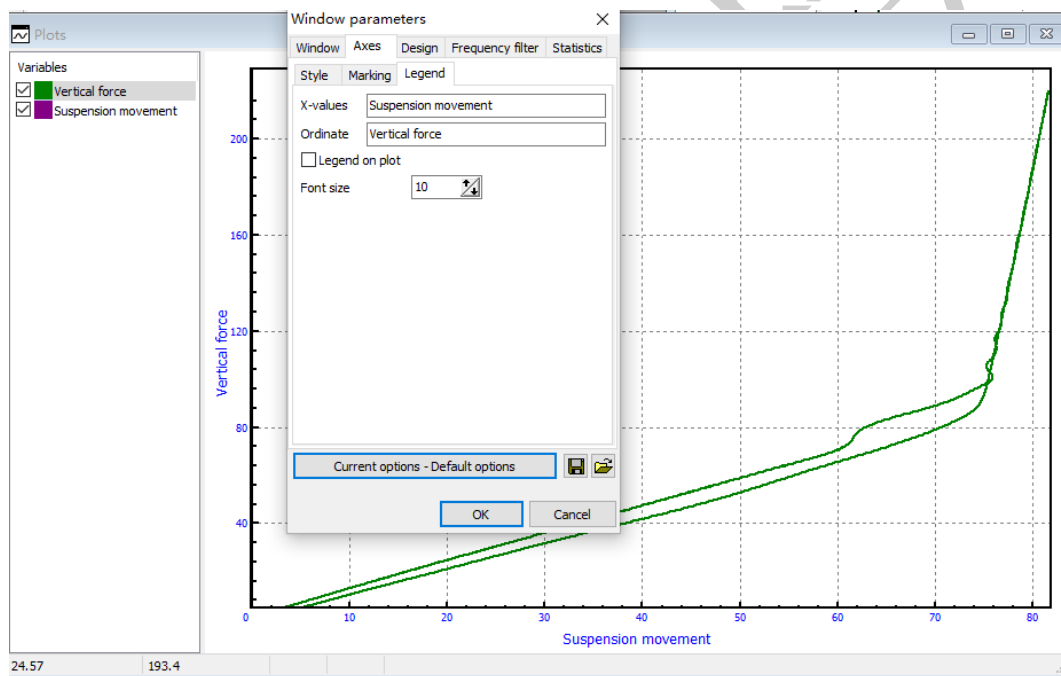


图 2.18

备注：

在绘图窗口点右键，选择菜单 **Options**，弹出绘图窗口参数，在 **Axles-Legend** 页面可以自定义横坐标和纵坐标图例标签、位置及字体。

点击 **Interrupt**，中断仿真，回到仿真控制界面。

2.2.4 计算初始速度

由于履带结构的特殊性，在车辆运动的任意时刻，每块履带板的速度矢量都不同。而对于履带车辆行驶动力学仿真，一般从某一给定初始速度直接开始。因此，有必要计算出一组初始速度（每个刚体的每个自由度方向）作为基准（如 5m/s）。这样，程序可以简单地用基准初始速度乘以一个系数获得任意初始速度的配置文件。

从 **Tests** 下拉菜单选择 **Computation of initial velocities**，在 **Parameters** 页面设置目标速度为 **5m/s**（请在工具栏确认速度单位为 **m/s**），加速时间为 **5s**。

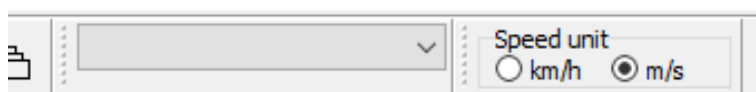


图 2.19

打开一个绘图窗口，将 **Variables** 页面的两个标准变量拖入其中。点击 **Integration**，开始计算，最后结果如图 2.20 所示。

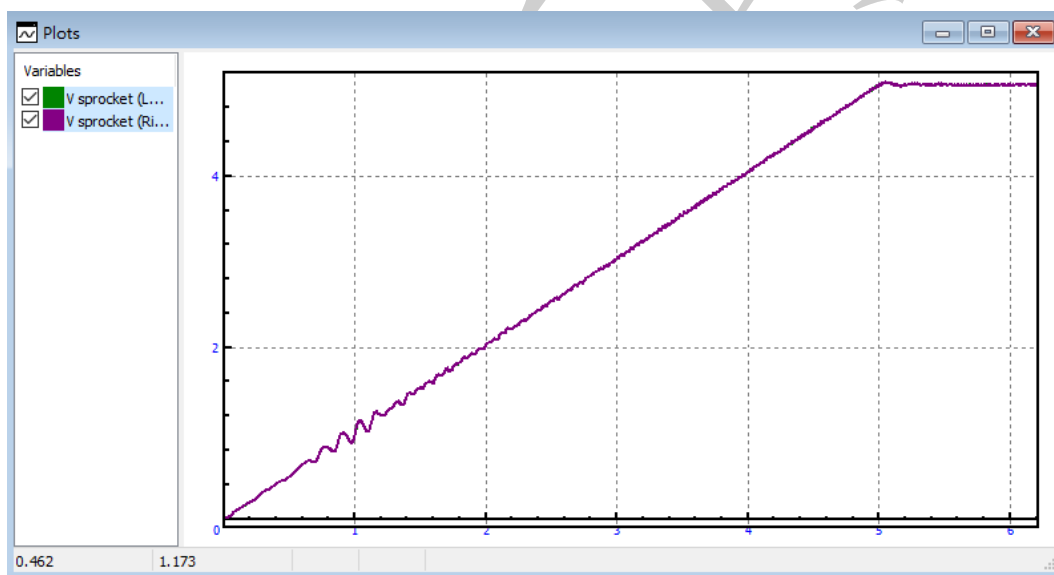


图 2.20

点击 **Interrupt-是(Y)**，程序自动保存当前时刻的速度配置到模型下（50.tvv 文件），该文件将自动用于之后行驶动力学仿真，切勿删除。

2.3 直线行驶仿真

下面演示履带车辆在硬路面直线行驶的两个工况例子，读者可查阅用户手册第 18 章，了解有关软土、曲线和复杂地形等工况的详细介绍。

2.3.1 起伏路面

从 **Tests** 下拉菜单选择 **Straight motion test**，**Parameters** 页面有个 **Amplification** 参数，它用于匀速和变速模式的速度控制，而当速度为 Neutral 惰行模式时，该参数不起作用。

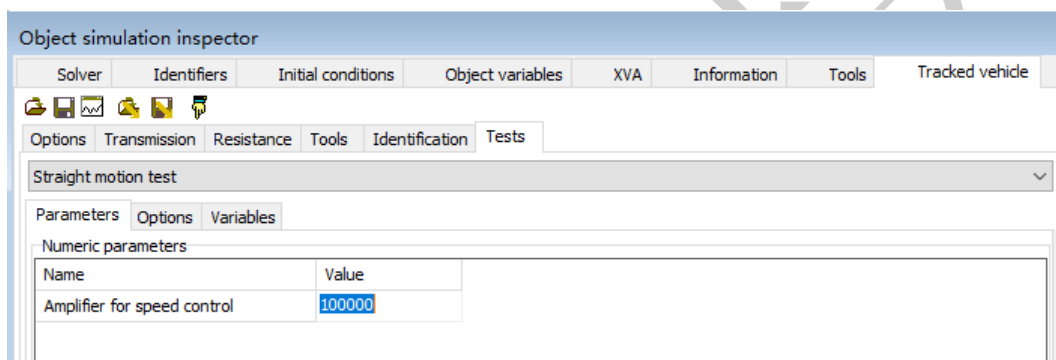


图 2.21

定位到 **Tracked vehicle | Options | Irregularities** 页面，选择路面不平度类型为**第三种**（谐波型），设置幅值为 **0.2m**，波长为 **20m**，左右相差 **7m**（该值为 0 时，左右相等，无相位差）。

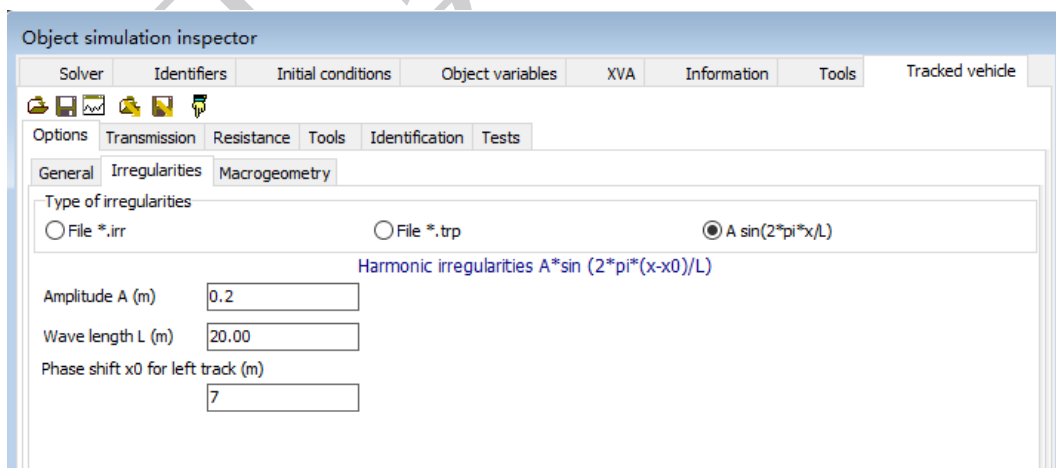



图 2.22

点击  图标，可以查看当前设置的路面不平度。

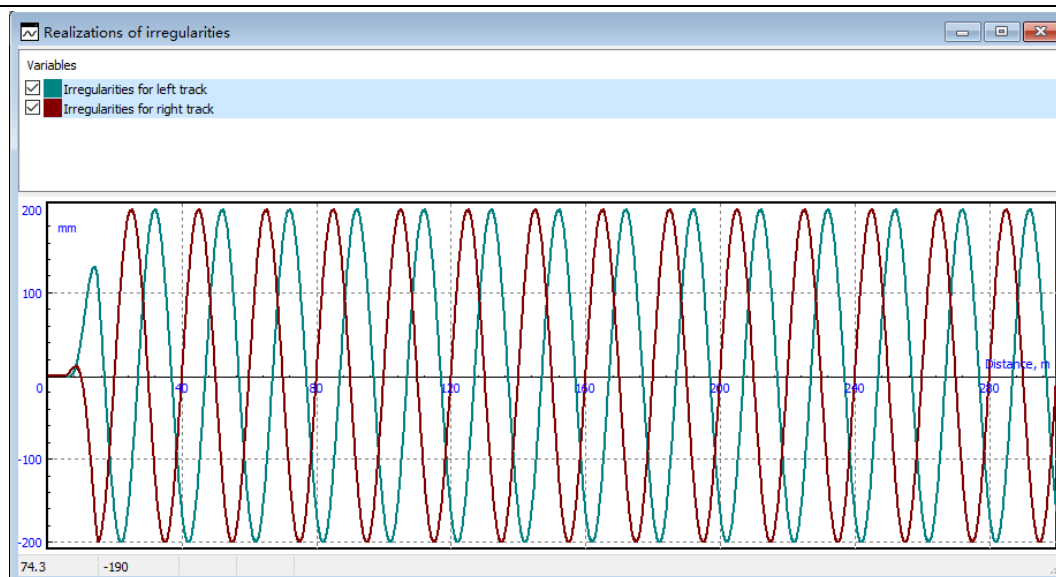


图 2.23

切换到 **Identifiers** 页面，将车辆初速度（注意：符号 v_0 位于主模型参数列表）设置为 **10m/s**。

在 **Tracked | Vehicle | Tests | Options** 页面，检查是否勾选了 **Take into account irregularities**。

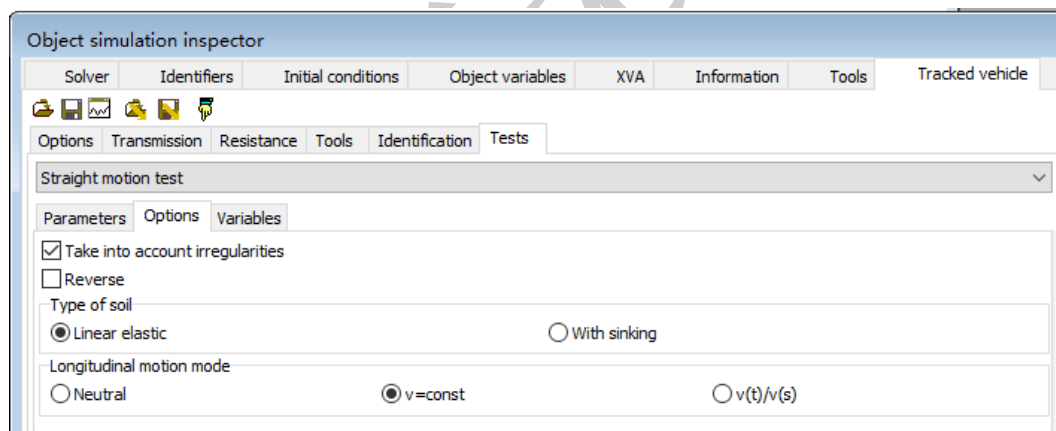


图 2.24

在动画窗口，将鼠标光标移动到车体上（注意光标形状应如图 2.25 所示），点击**右键**，选择 **Camera follows Hull**，这样使得动画窗口的镜头始终跟随车体。

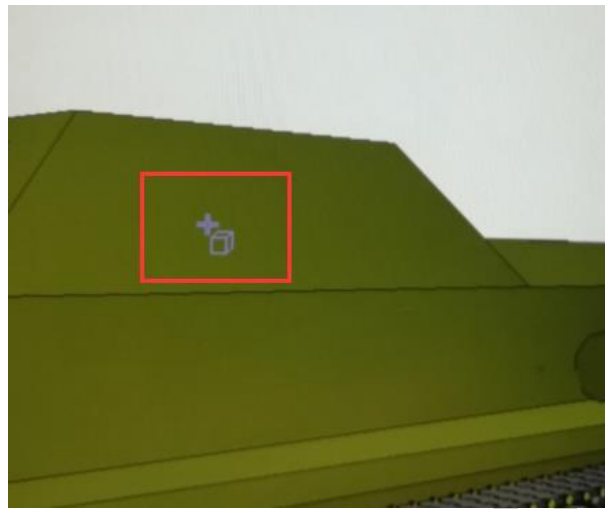


图 2.25

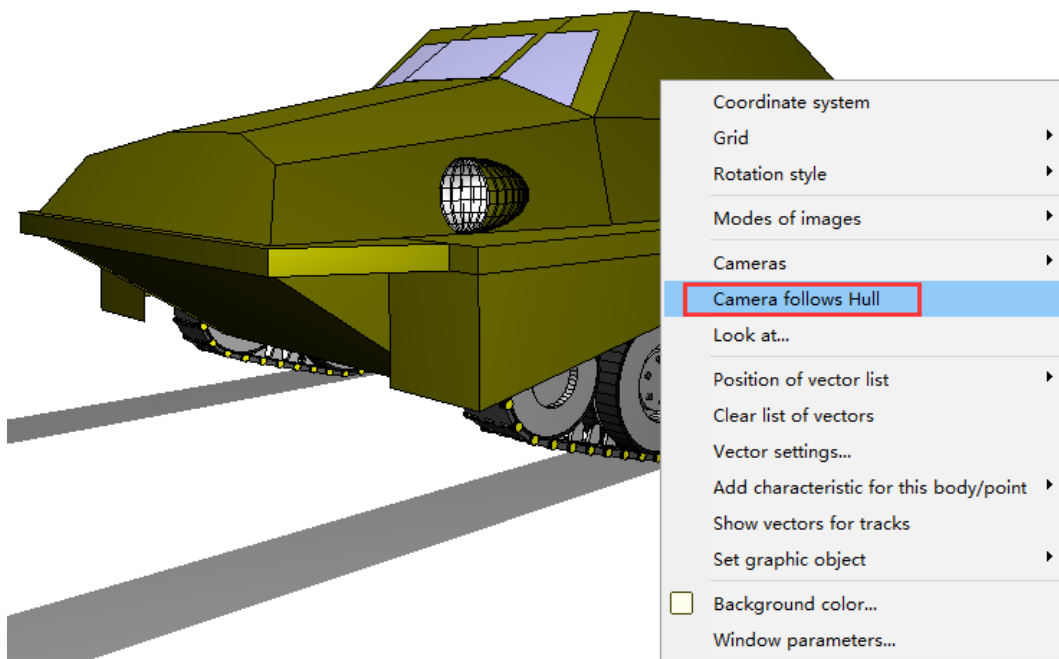


图 2.26

读者可以从变量向导创建一些变量并显示在绘图窗口，观察其动力学行为，如车体质心加速度。

点击 **Integration**，开始仿真。

2.3.2 跳跃垂直墙

点击 **Interrupt**，中断仿真，回到仿真控制界面。

定位到 **Tracked vehicle | Options| Irregularities** 页面，选择 **File** 模式，并从本地目录读入路面不平度文件{UM Data}\Caterpillar\Irregularities\jump_25_1.irr，分配给左右履带。

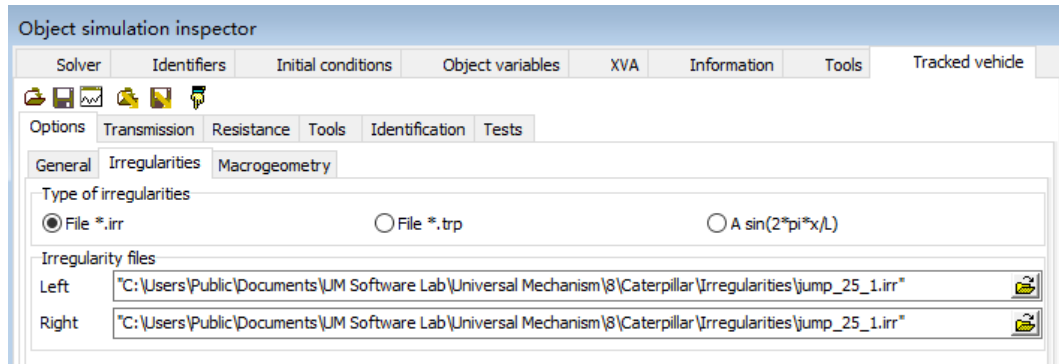



图 2.27

点击  图标，可以查看当前设置的路面不平度。

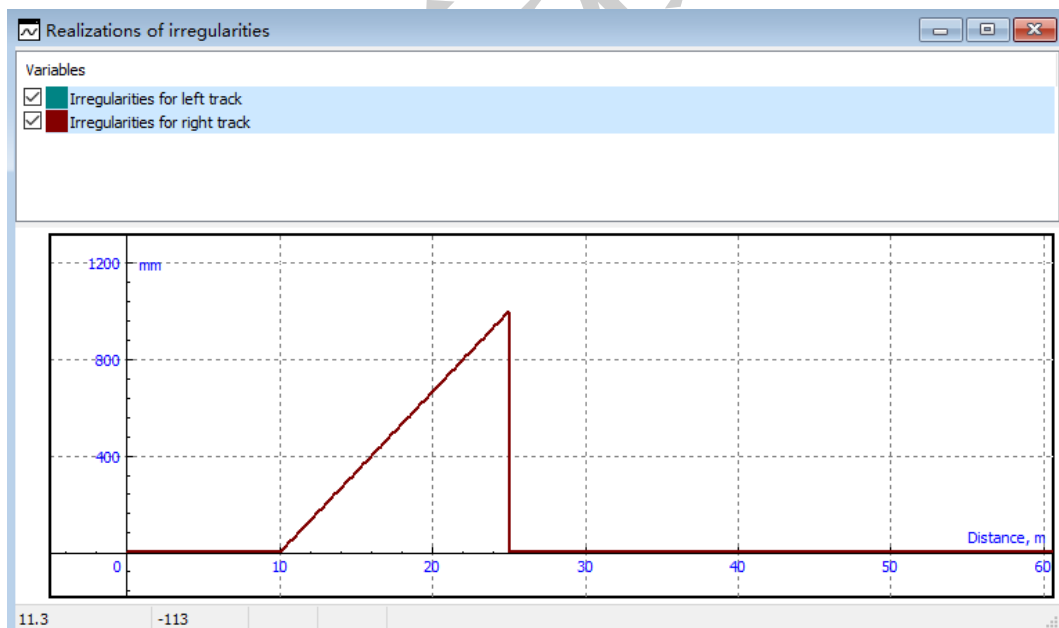


图 2.28

点击 **Integration**，开始计算，仿真过程如图 2.29 所示。

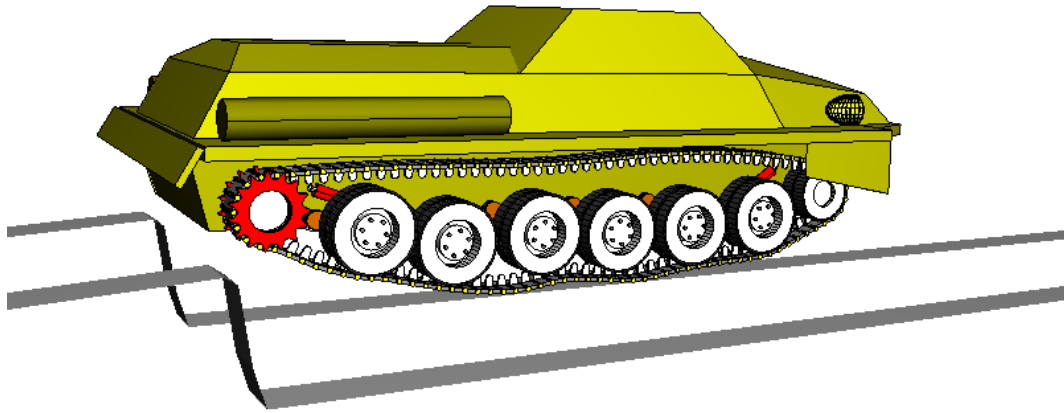


图 2.29

参考文献

- [1] Crawler transporters / Platonov W.F. (Ed.). Moscow: Mashinostroenie. 1972 (Rus).