



弹球教程（**Professional**）



Copyright © 2017 FunctionBay, Inc. All rights reserved

User and training documentation from FunctionBay, Inc. is subjected to the copyright laws of the Republic of Korea and other countries and is provided under a license agreement that restricts copying, disclosure, and use of such documentation. FunctionBay, Inc. hereby grants to the licensed user the right to make copies in printed form of this documentation if provided on software media, but only for internal/personal use and in accordance with the license agreement under which the applicable software is licensed. Any copy made shall include the FunctionBay, Inc. copyright notice and any other proprietary notice provided by FunctionBay, Inc. This documentation may not be disclosed, transferred, modified, or reduced to any form, including electronic media, or transmitted or made publicly available by any means without the prior written consent of FunctionBay, Inc. and no authorization is granted to make copies for such purpose.

Information described herein is furnished for general information only, is subjected to change without notice, and should not be construed as a warranty or commitment by FunctionBay, Inc. FunctionBay, Inc. assumes no responsibility or liability for any errors or inaccuracies that may appear in this document.

The software described in this document is provided under written license agreement, contains valuable trade secrets and proprietary information, and is protected by the copyright laws of the Republic of Korea and other countries. UNAUTHORIZED USE OF SOFTWARE OR ITS DOCUMENTATION CAN RESULT IN CIVIL DAMAGES AND CRIMINAL PROSECUTION.

Registered Trademarks of FunctionBay, Inc. or Subsidiary

*RecurDyn*TM is a registered trademark of FunctionBay, Inc.

*RecurDyn*TM/SOLVER, *RecurDyn*TM/MODELER, *RecurDyn*TM/PROCESSNET, *RecurDyn*TM/AUTODESIGN, *RecurDyn*TM/COLINK, *RecurDyn*TM/DURABILITY, *RecurDyn*TM/FFLEX, *RecurDyn*TM/RFLEX, *RecurDyn*TM/RFLEXGEN, *RecurDyn*TM/LINEAR, *RecurDyn*TM/EHD(Styer), *RecurDyn*TM/ECFD_EHD, *RecurDyn*TM/CONTROL, *RecurDyn*TM/MESHINTERFACE, *RecurDyn*TM/PARTICLES, *RecurDyn*TM/PARTICLEWORKS, *RecurDyn*TM/ETEMPLATE, *RecurDyn*TM/BEARING, *RecurDyn*TM/SPRING, *RecurDyn*TM/TIRE, *RecurDyn*TM/TRACK_HM, *RecurDyn*TM/TRACK_LM, *RecurDyn*TM/CHAIN, *RecurDyn*TM/MTT2D, *RecurDyn*TM/MTT3D, *RecurDyn*TM/BELT, *RecurDyn*TM/R2R2D, *RecurDyn*TM/HAT, *RecurDyn*TM/曲柄, *RecurDyn*TM/PISTON, *RecurDyn*TM/VALVE, *RecurDyn*TM/TIMINGCHAIN, *RecurDyn*TM/ENGINE, *RecurDyn*TM/GEAR are trademarks of FunctionBay, Inc.

Third-Party Trademarks

Windows and Windows NT are registered trademarks of Microsoft Corporation.

ProENGINEER and ProMECHANICA are registered trademarks of PTC Corp. Unigraphics and I-DEAS are registered trademark of UGS Corp. SolidWorks is a registered trademark of SolidWorks Corp. AutoCAD is a registered trademark of Autodesk, Inc.

CADAM and CATIA are registered trademark of Dassault Systems. FLEX/m is a registered trademark of GLOBEtrrotter Software, Inc. All other brand or product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders.

Edition Note

These documents describe the release information of *RecurDyn*TM V9R1.

目录

概要.....	8
目标.....	8
预备知识.....	9
步骤.....	9
预计完成时间.....	9
设置仿真环境.....	6
任务目标.....	6
预计完成时间.....	6
启动 RecurDyn.....	7
调整图标和标记大小.....	7
创建几何体.....	8
任务目标.....	8
预计完成时间.....	8
创建轨道几何.....	9
创建球几何体.....	14
保存模型.....	14
创建力元素及接触.....	15
任务目标.....	15
预计完成时间.....	15
定义压缩弹簧.....	16
定义球间的接触.....	17
定义球和轨道之间的接触.....	18
保存模型.....	23
Expression 的创建与分析.....	24
任务目标.....	24

预计完成时间.....	24
定义 Expression.....	25
创建 Expression Scope	26
运行 Dynamic/Kinematic 分析.....	27
运行 Design Study.....	29
任务目标.....	29
预计完成时间.....	29
运行 Design Study	30
播放试验结果的动画.....	35
进一步探索的思路	37

Chapter

1

概要

目标

物体间接触的建模与仿真是多体动力学的重要课题。**RecurDyn** 具有定义和仿真所有形式接触的强大功能，无论是在 **RecurDyn** 中创建从简单到复杂的几何体，或者从 **CAD** 软件导入的几何体。建模设计需要考虑到接触对模型变化的影响。

本教程开发一个弹球机，包括高层次的垂直运动。该模型的一方面是当球从起始点开始，沿一个上下弯曲的斜坡运动。本教程的目标是选择合适的弹簧，并储存足够的能量，将球推过这个垂直障碍。

本教程是第一个提供接触建模的方法的教程，将学习：

- 创建线框几何。
- 定义物体之间的 **2D** 接触。
- 定义参数值。
- 运行 **Design Study**。

同时还进行：

- 球之间相互接触，对有 **Guide** 和 **Contact** 的弹球模型进行仿真。
- 研究球发射器的驱动力和系统响应之间的关系。

预备知识

本教程适用于 **RecurDyn** 初学者。所有新的任务都将会做详细说明。

首先应该学习 **3D 曲柄滑块机构**、**螺旋桨发动机教程**或其它类似教程。读者必须具备一些基本的物理知识。

步骤

本教程包括以下步骤。这个表格也给出了完成每个步骤需要的时间。

步骤	时间（分钟）
设置仿真环境	5
创建几何	5
创建力和接触	15
表达式的创建和分析	10
运行设计分析	30
总计：	65



预计完成时间

本教程大概需要 60 分钟完成。



设置仿真环境

任务目标

学习如何设置仿真环境，包括单位、材料、重力和工作平面。



预计完成时间

5分钟

启动 RecurDyn

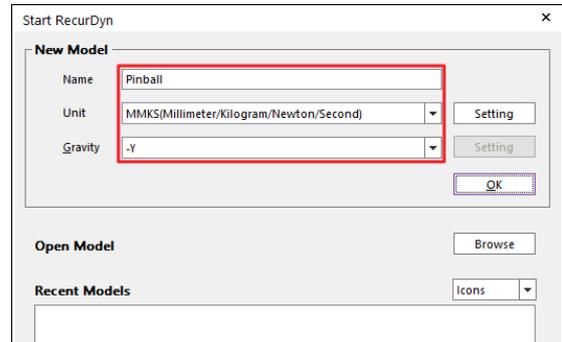
为启动 RecurDyn，创建新模型：



1. 双击桌面上的 **RecurDyn** 图标。

RecurDyn 启动，并弹出 **Start RecurDyn** 窗口。

2. 在 **Name** 栏中设置新模型的名称为 **Pinball**。
3. 将 **Unit** 设置为 **MMKS**。
4. 将 **Gravity** 设置为 **-Y**。
5. 点击 **OK**。



调整图标和标记大小

改变图标和标记的大小，便于更好地查看模型。

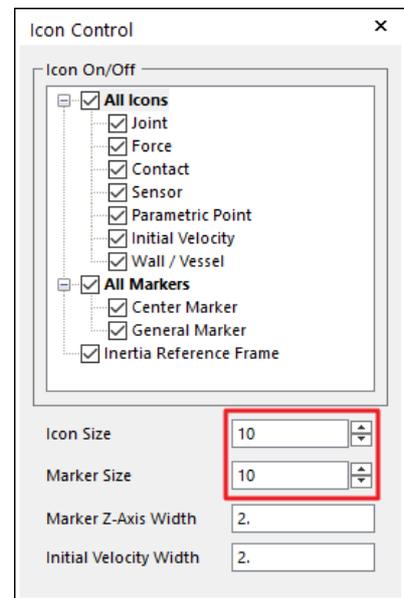
改变图标和标记大小：



1. 在 **View Control** 工具栏，点击 **Icon Control** 图标。

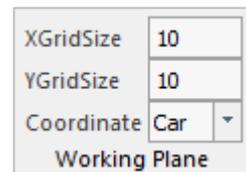
弹出 **Icon Control** 窗口。

2. 设置 **Icon Size** 和 **Marker Size** 为 10。
3. 关闭 **Icon Control** 窗口。



设置网格尺寸为 10

在 **Home** 标签的 **Working Plane** 组中，如右图所示设置各个网格尺寸为 10，并按 **Enter** 键。



Chapter

3

创建几何体

使用线框几何，定义地面的球轨道，并在模型层次定义几个单独的球体。

任务目标

学习创建以下几何体

- 用于限制球的运动的直线几何和圆弧几何。
- 表示模型中三个球的球形几何。
- 为了定义轨道和 2D 接触的球内部的圆几何。



预计完成时间

10 分钟

创建轨道几何

创建直线轨道几何：



1. 为了修改 Ground Body，在 **Professional** 标签的 **Maker and Body** 组中，点击 **Ground**。

进入 Ground Edit 模式后如下图所示：

- 模型工作窗口的左上角，变为 **Ground@Pinball**。



- **Database** 窗口的最顶上一项是 **Ground**。

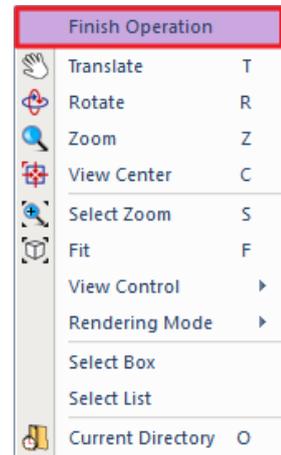
2. 将工作平面改为 **XY Plane**。
3. 在 **Geometry** 标签的 **Curve** 组，点击 **Outline**。



4. 输入以下 Point 值：

- **Point1**: 0, 0, 0
- **Point2**: 110, 0, 0

5. 右键点击后点击 **Finish Operation**（弹出菜单的第一项），完成 **Outline** 的定义。



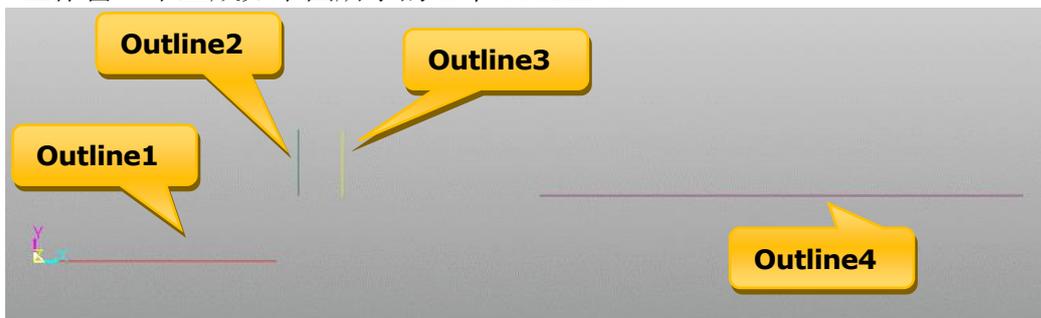
6. 使用以下数值将 3-5 过程重复进行三次：

- **Point1**: 120, 30, 0
- **Point2**: 120, 60, 0

- **Point1**: 140, 30, 0
- **Point2**: 140, 60, 0

- **Point1**: 230, 30, 0
- **Point2**: 450, 30, 0

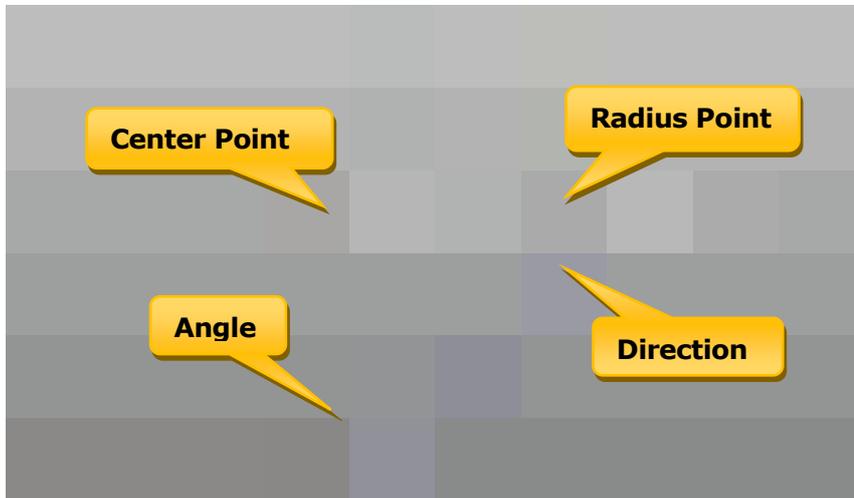
工作窗口中生成如下图所示的 4 个 Outline。



创建圆弧轨道几何：



1. 在 **Geometry** 标签的 **Curve** 组中，点击 **Arc**。
2. 设置 Creation Method 工具栏为 **Point, Point, Direction, Angle** 并输入以下数值。
 - **Center Point:** 110, 30, 0
 - **Radius Point:** 140, 30, 0
 - **Direction:** 0, -1, 0 **Angle:** 90
3. 使用以下数值将 1-2 过程重复进行三次：

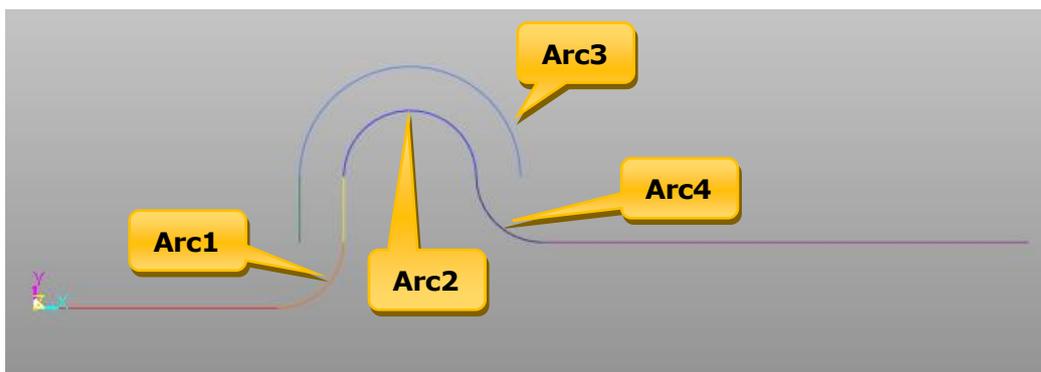


- **Center Point:** 170, 60, 0
- **Radius Point:** 140, 60, 0
- **Direction:** 0, 1, 0
- **Angle:** 180

- **Center Point:** 170, 60, 0
- **Radius Point:** 120, 60, 0
- **Direction:** 0, 1, 0
- **Angle:** 180

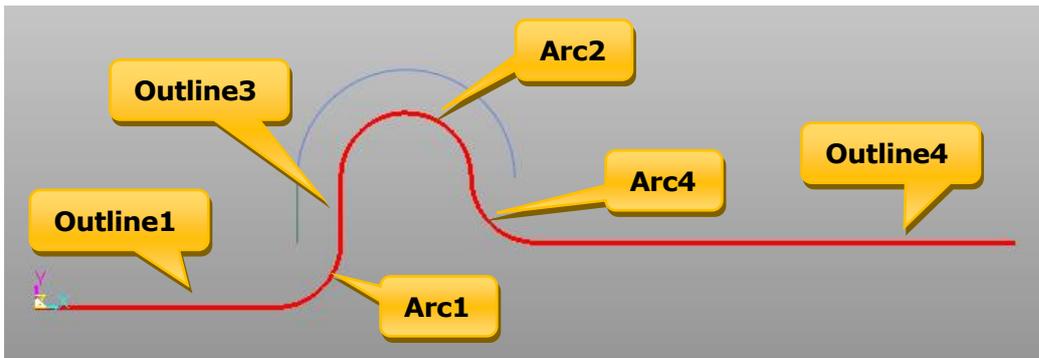
- **Center Point:** 230, 60, 0
- **Radius Point:** 200, 60, 0
- **Direction:** 0, -1, 0
- **Angle:** 90

创建的几何如下图所示。



- 使用生成的曲线创建 EdgeCurve

1. 在 **Ground** 标签的 **Curve** 组中，点击 **Edge**。
2. 将 Creation Method 工具栏设置为 **MultiEdge**。
3. 使用 **Select Toolbar**，如下图所示选择 **Outline1**，**Outline3**，**Outline4** 及 **Arc1**，**Arc2**，**Arc4**。



TIP: 使用 **Select Toolbar** 选择 **MultiEdge**

使用 **Select Toolbar** 功能可以变更鼠标的**选择状态**。

- **Select (Default)**：将之前被选定的 Entity 初始化并且点击时总是点击新的实体。
- **Add or Remove**：点击时会反之前的状态。如果点击未被选择的实体，则该实体被选中。如果点击被选择的实体，则该实体被取消选中。
- **Add**：点击时无条件的选择新的实体。
- **Remove**：取消被选中的实体。

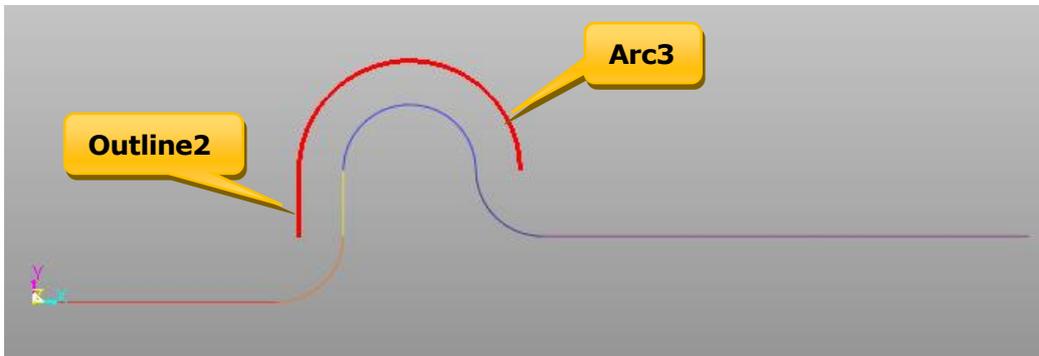
*在 **Select Toolbar** 中除了选择状态以外的其他功能会根据编辑模式的不同而变化。

- 在工作窗口中右键单击并单击 **Finish Operation**。

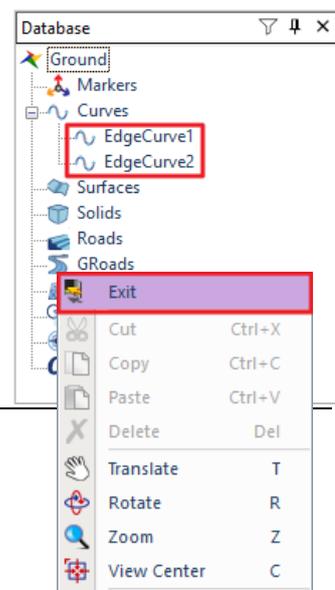
EdgeCurve1 被创建。

- 再次在 **Ground** 标签的 **Curve** 组下点击 **Edge**。
- 设置 **Creation Method** 工具栏为 **MultiEdge**。
- 使用 **Select Toolbar**，如下图所示选择 **Outline2** 和 **Arc3**。
- 在工作窗口中右键单击并单击 **Finish Operation**。

EdgeCurve2 被创建。



- 删除 **Database** 中创建的 **EdgeCurve1** 和 **EdgeCurve2** 之外的所有 **Curve**。





10. 点击 **Exit**，退出 Ground 的 Edit 模式。（**Exit** 位于顶部工具栏上，如右图所示在工作窗口中右键单击后出现的菜单中也会显示。）

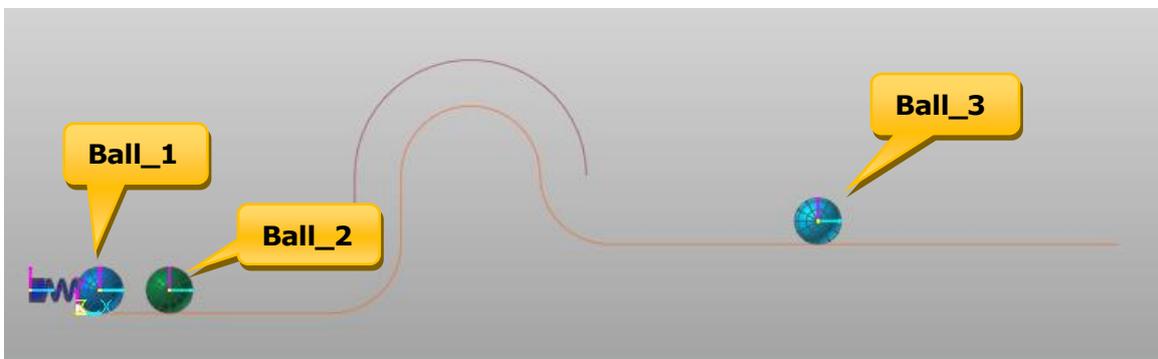
创建球几何体

创建球几何体和圆几何体：



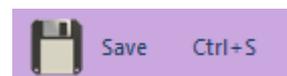
1. 在 **Professional** 标签的 **Maker and Body** 组中，点击 **Ellipsoid**。
2. 设置 **Creation Method** 工具栏为 **Point, Distance**，输入以下数值：
 - **Point:** 10, 10, 0
 - **Distance:** 10
3. 打开 **Body1** 的 **Property** 窗口将 **Body1** 的名字变更为 **Ball_1**。
4. 使用以下信息将 1-3 过程重复进行两次：
 - **Point:** 40, 10, 0
 - **Distance:** 10
 - **Body Name:** Ball_2
 - **Point:** 320, 40, 0
 - **Distance:** 10
 - **Body Name:** Ball_3

模型如下图所示。



保存模型

开始下一章之前，保存模型。（小贴士：在 **File** 菜单下，点击 **Save**。）



Chapter 4

创建力元素及接触

此模型的运动由力驱动。压缩弹簧驱动 **Ball_1** 碰撞接触到 **Ball_2**，由于接触力 **Ball_2** 沿着轨道进行运动。最终 由于与 **Ball_2** 的接触力 **Ball_3** 开始进行运动。

任务目标

学习创建以下三种力元素：

- 使 **Ball_1** 运动的压缩弹簧驱动
- 球之间的球-球接触
- 在球和轨道几何之间，圆到曲线的接触



预计完成时间

20 分钟

定义压缩弹簧

创建弹簧力，并调整其属性，产生一定的压缩。这样，当仿真开始时，Ball_1 会被推到右边的正确位置。

创建弹簧：



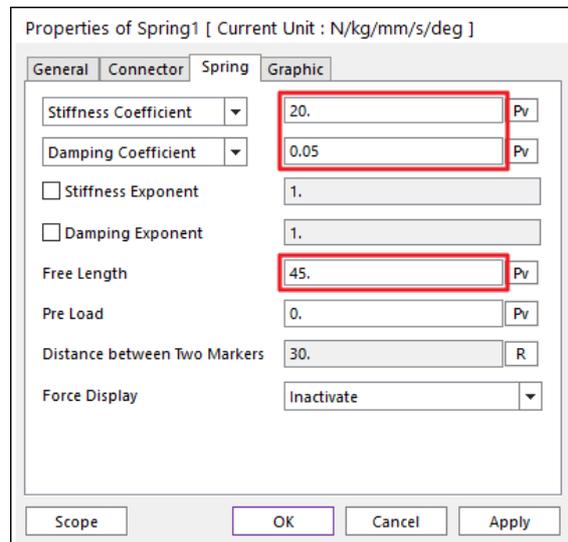
1. 在 **Professional** 标签的 **Force** 组中，点击 **Spring**。
2. 设置 **Creation Method** 工具栏为 **Body, Body, Point, Point**。
3. 选择 **Ground** 作为 **Spring** 的 **Base Body**，点击工作窗口的空白背景。（也可以直接输入 **Ground**。）
4. 点击 **Ball_1** 几何，选择 **Ball_1** 作为 **Spring** 的 **Action Body**。
5. 将 **Spring** 的 **Base**，**Action Point** 按照以下数值输入。

- **Point1**: -20, 10, 0

- **Point2**: 10, 10, 0

设置弹簧属性：

1. 显示 **Spring1** 的 **Property** 窗口。
2. 在 **Spring** 标签作以下变更：
 - **Spring Coefficient**: 20
 - **Damping Coefficient**: 0.05
- **Free Length**: 45



定义的长度为 30mm。将 **Free Length** 改为 45，这意味着，弹簧被压缩 15mm。定义弹簧系数为 20，在仿真的开始阶段，球被施加 300 N 的负载。弹簧长度增加至 45mm 时，弹力为 0。

3. 点击 **OK**。

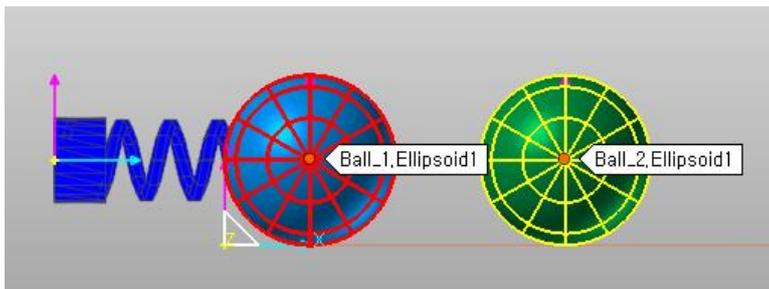
定义球间的接触

在球间创建接触：



1. 在 **Professional** 标签的 **Contact** 组，点击 **Sph-Sph**。
2. 设置 **Creation Method** 工具栏为 **Sphere,Sphere**。
3. 选择以下的几何体。

- **Sphere:** **Ball_1.Ellipsoid1**
- **Sphere:** **Ball_2.Ellipsoid1**



4. 再次在 **Professional** 标签的 **Contact** 组，点击 **Sph-Sph**，选择以下几何体。
- **Sphere:** **Ball_2.Ellipsoid1**
 - **Sphere:** **Ball_3.Ellipsoid1**

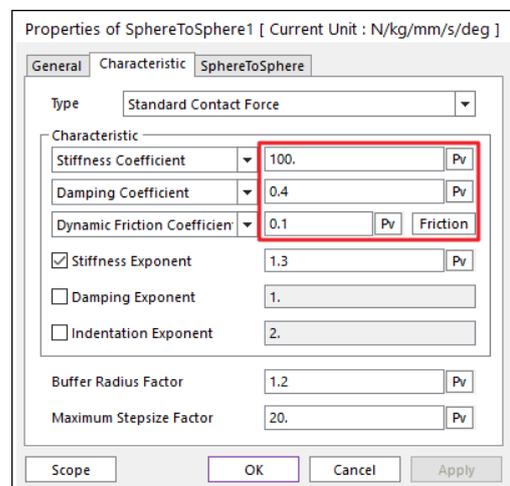
调整球间的接触属性：

1. 打开 **SphereToSphere1** 的 **Property** 窗口。
2. 在 **Characteristics** 标签，作如下变更：

- **Spring Coefficient:** 100
- **Damping Coefficient:** 0.4
- **Dynamic Friction Coefficient:** 0.1

3. 点击 **OK**。

4. 对 **SphereToSphere2** 的接触属性，做同样的调整。



定义球和轨道之间的接触

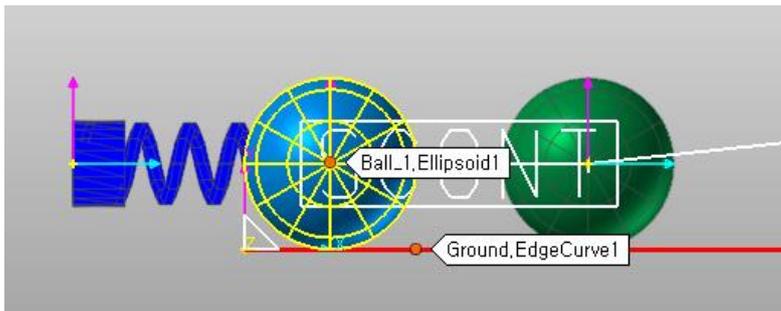
Ball_1 被弹簧约束，并且与下端的轨道几何接触。

Ball_1 与下端轨道几何之间，创建接触：



1. 在 **Professional** 标签的 **2D Contact** 组，点击 **GeoCir**，选择以下几何体。

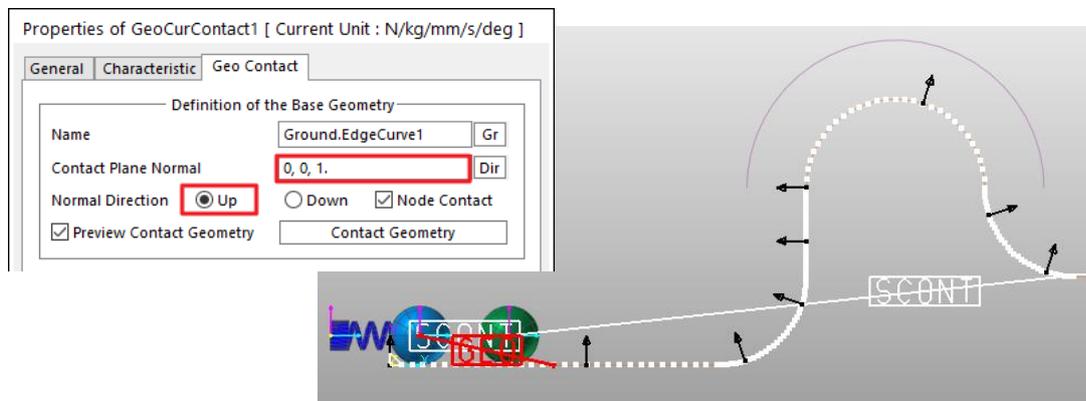
- **Curve:** Ground.EdgeCurve1
- **Circle(Sphere):** Ball_1.Ellipsoid1



2. 打开 GeoCurContact1 的 Property 窗口。

3. 在 Geo Contact 标签中，按照下图变更 Preview 箭头的方向。

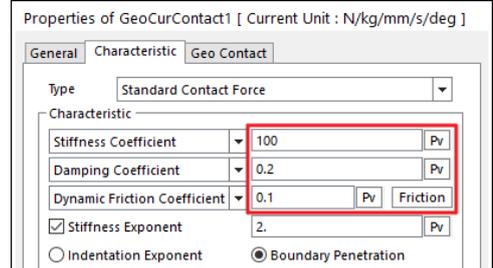
- **Contact Plane Normal (Base) :** 0, 0, 1



Normal Direction (Base) : Up

4. 在 **Characteristic** 标签，作如下变更：

- **Spring Coefficient:** 100
- **Damping Coefficient:** 0.2



- **Dynamic Friction Coefficient:** 0.1

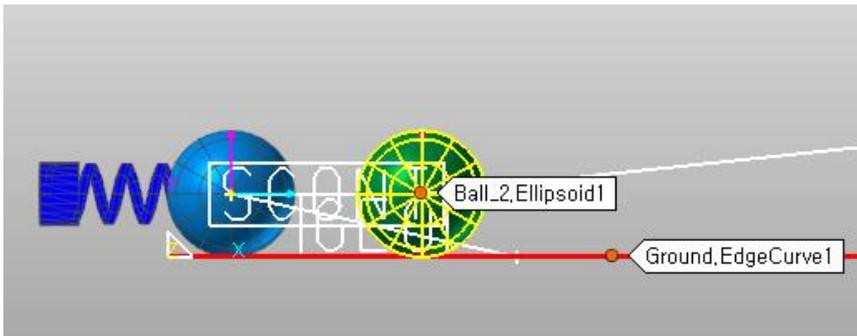
5. 点击 **OK**，关闭接触属性窗口。

在第二个球(Ball_2)和下端轨道几何之间**创建接触**：



1. 在 **Professional** 标签的 **2D Contact** 组，点击 **GeoCir**，选择以下几何体。

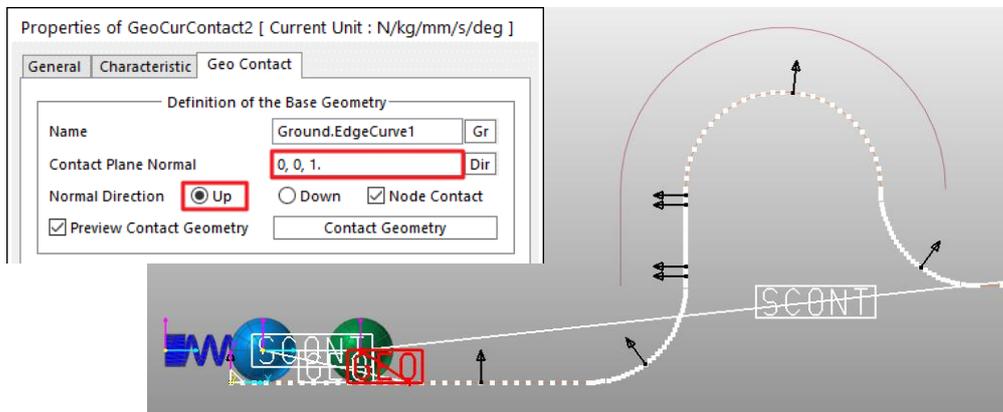
- **Curve:** Ground.EdgeCurve1
- **Circle(Sphere):** Ball_2.Ellipsoid1



2. 打开 GeoCurContact2 的 Property 窗口。

3. 在 Geo Contact 标签中，按照下图变更 Preview 箭头的方向。

- **Contact Plane Normal (Base) :** 0, 0, 1
- **Normal Direction (Base) :** Up



4. 在 **Characteristic** 标签，作如下变更：

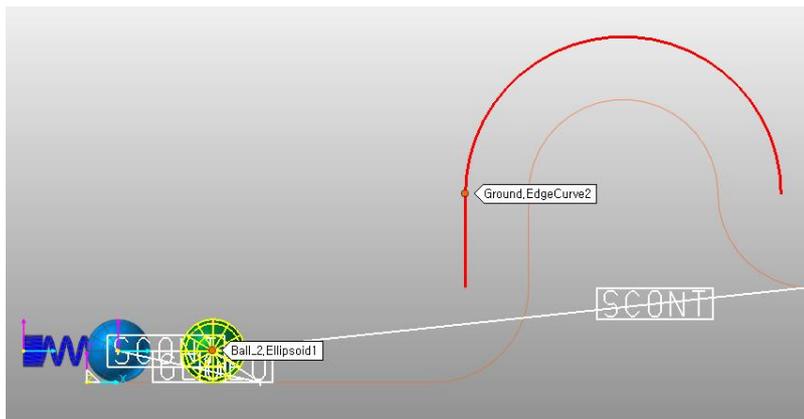
- **Spring Coefficient:** 100
- **Damping Coefficient:** 0.2
- **Dynamic Friction Coefficient:** 0.03

5. 点击 **OK**，关闭接触属性窗口。

在第二个球(Ball_2)和上端轨道几何之间创建接触

1. 在 **Professional** 标签的 **2D Contact** 组，点击 **GeoCir**，选择以下几何体。

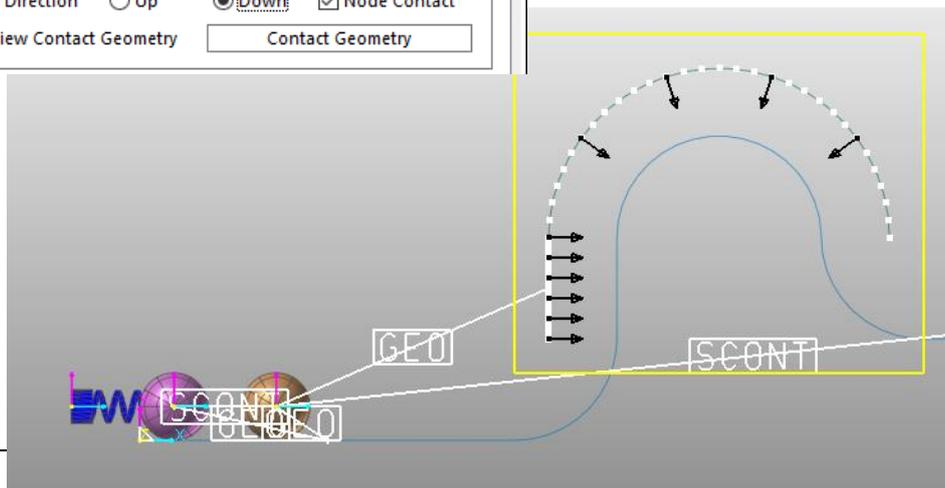
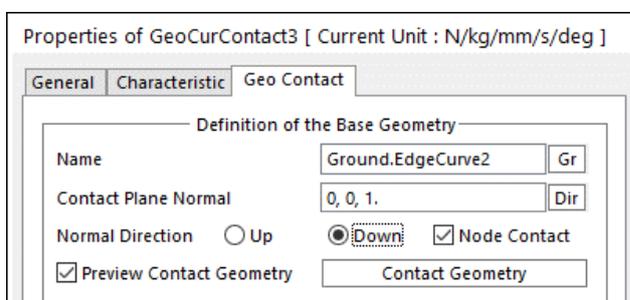
- **Curve:** Ground.EdgeCurve2
- **Circle(Sphere):** Ball_2.Ellipsoid1



2. 打开 **GeoCurContact3** 的 Property 窗口。

3. 在 **Geo Contact** 标签中，按照下图变更 Preview 箭头的方向。

- **Contact Plane Normal (Base) :** 0, 0, 1
- **\Normal Direction (Base) :** Down



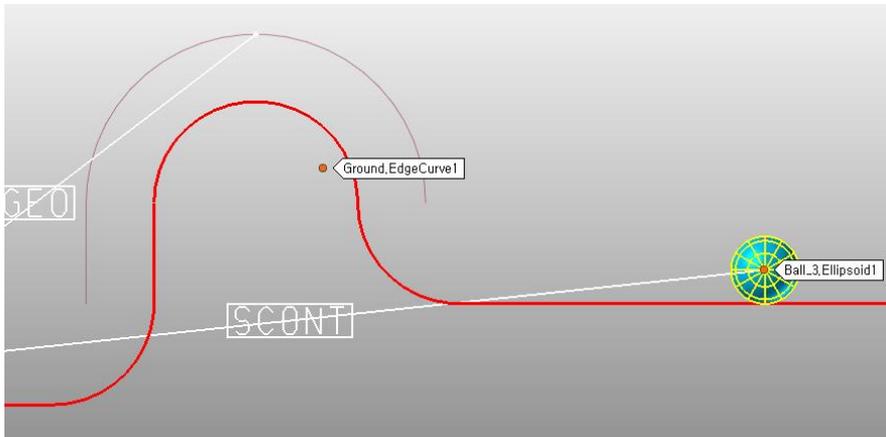
4. 在 **Characteristic** 标签，作如下变更
 - **Spring Coefficient:** 100
 - **Damping Coefficient:** 0.2
 - **Dynamic Friction Coefficient:** 0.03
5. 点击 **OK**，关闭接触属性窗口。

创建第三个球（Ball_3）和下端轨道几何之间的接触



1. 在 **Professional** 标签的 **2D Contact** 组，点击 **GeoCir**，选择以下几何体。

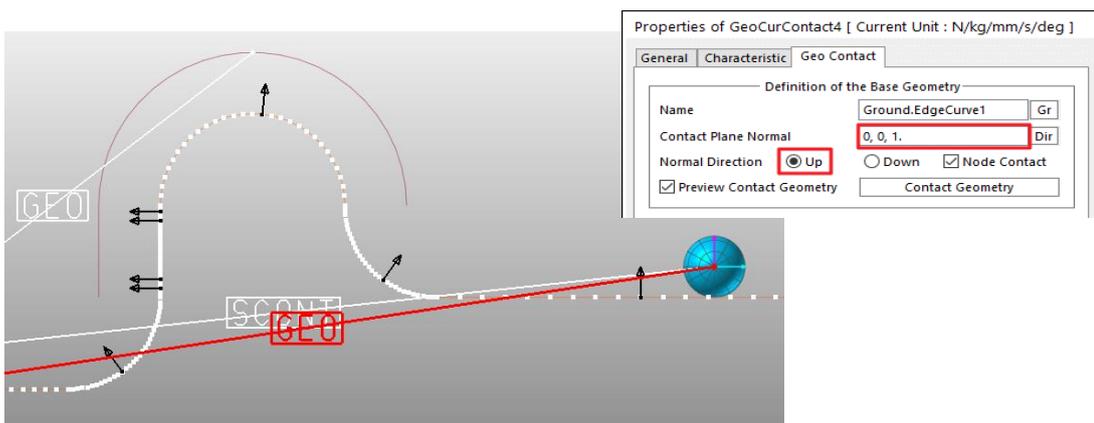
- **Curve:** Ground.EdgeCurve1
- **Circle(Sphere):** Ball_3.Ellipsoid1



2. 打开 **GeoCurContact4** 的 **Property** 窗口。

3. 在 **Geo Contact** 标签中，按照下图变更 **Preview** 箭头的方向。

- **-Contact Plane Normal (Base) :** 0, 0, 1



- **Normal Direction (Base Geometry) :** Up

4. 在 **Characteristic** 标签，作如下变更。

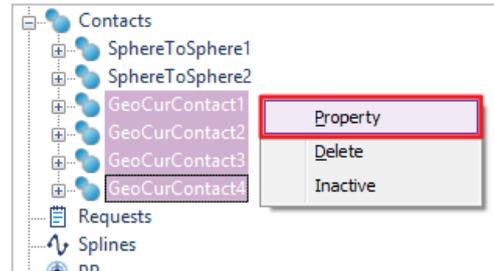
- **Spring Coefficient:** 100
- **Damping Coefficient:** 0.2
- **Dynamic Friction Coefficient:** 0.03

5. 点击 **OK**，关闭接触属性窗口。

定义接触的 Smooth 选项及 Force Display

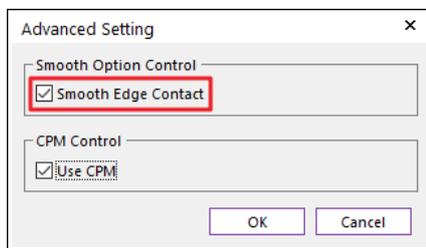
在球与轨道之间应用 Smooth Contact 选项，为了更直观的看到接触的结果，定义 Force Display 相关的选项。

1. 在 Database 中，同时选中 4 个 GeoCurContact，按住 Ctrl 键，单击鼠标右键，然后单击 Property。

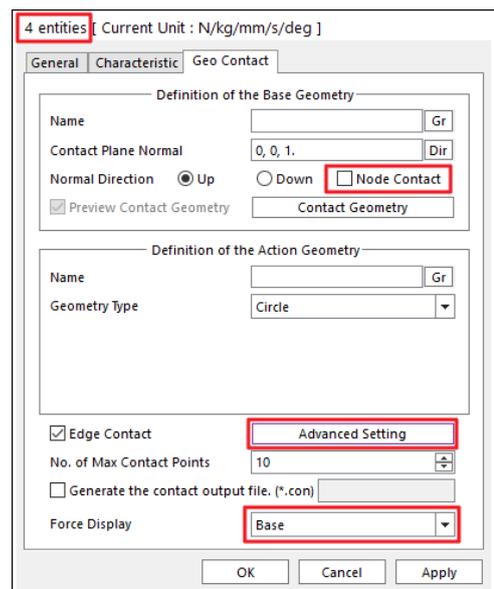


Multi-property 窗口打开，该窗口中可以一次性修改多个 Entity 的 Property。

2. 在 Geo Contact 标签中关闭 Node Contact。
3. 点击 Advance Setting 按钮。
4. 弹出 Advance Setting 窗口后打开 Smooth



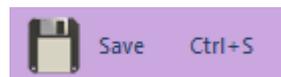
Edge Contact。



5. 点击 OK 关闭窗口。
6. 在 Geo Contact 标签中将 Force Display 变更为 Base。
7. 在 Multi-Property 窗口中点击 OK。

保存模型

在开始下一章之前，保存模型。（小贴士：在 File 菜单下，点击 Save。）



Chapter

5

表达式的创建与分析

任务目标

在本章中，定义一个表达式来测量两个体之间的距离并进行仿真。另外，通过 Scope 来确认表达式的结果。



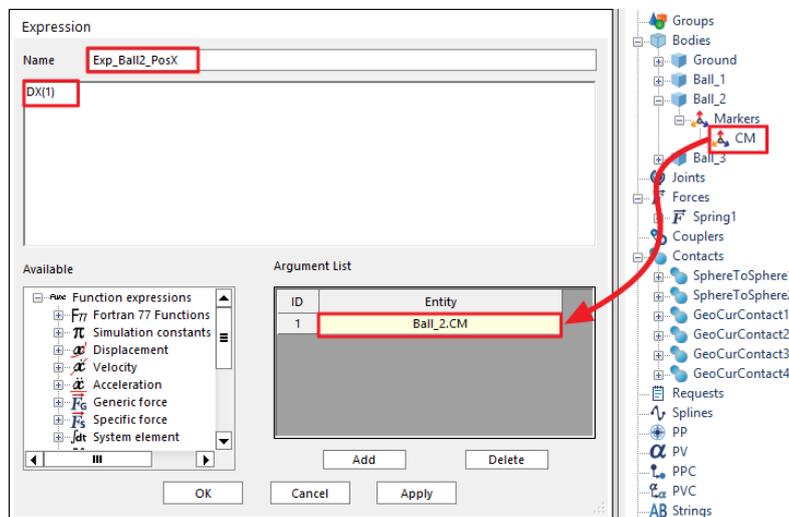
预计完成时间

30 分钟

定义表达式

定义可以测量两 Body 之间距离的 Expression。

1. 在 SubEntity 标签的 Expression 组中点击 Expression。
2. 弹出 Expression List 窗口后点击 Create 按钮。
3. 弹出 Expression 窗口后执行以下操作。
4. 将 Name 变更为 Exp_Exp_Ball2_PosX。
5. 在 Expression 文本框中键入 DX (1) 。
6. 在 Expression 窗口的 Argument List 中单击 Add。
7. 在 Database 中展开 Ball_2 列表后展开 Markers 列表。
8. 在 Database 中 Ball_2 下的 Markers 列表中，将 CM 拖入 Expression 窗口中



Argument List 的空白文本框中。

9. 在 Expression 窗口中点击 OK。
10. 在 Expression List 窗口中点击 OK。

TIP: 变更 Expression 的 Marker

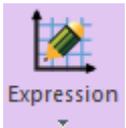
在上面的 Expression 中，Argument List 中使用的 Marker 是以 Body 的 Center Marker (CM) 作为重心。在 Expression 中也可以使用用户定义的 General Marker 代替 CM。



可以通过单击 **Professional** 标签的 **Marker and Body** 组中的 **Marker** 来创建 **General Marker**。

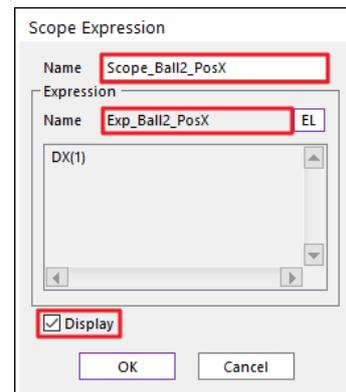
创建 Expression Scope

为了不与 Plot 重叠，可以通过创建 **Scope** 来确认上面定义的 **Exp_Ball12_PosX** 相关的结果。



1. 在 **Analysis** 标签的 **Scope** 组中，单击 **Expression**。
2. 将 **Name** 变更为 **Scope_Ball12_PosX**。
3. 单击 **EL** 按钮，单击上面创建的 **Exp_Ball12_PosX**，然后单击 **OK**。
4. 确认勾选 **Display** 后单击 **OK**。

查看 **Expression** 相关的 **Scope** 已经准备完毕。

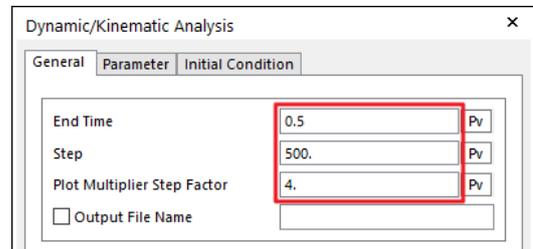


运行 Dynamic/Kinematic 分析

本节运行一个 **Dynamic/Kinematic** 分析，以便查看模型上的力和运动的效果。

1. 在 **Analysis** 标签的 **Simulation Type** 组中，点击 **Dyn/Kin**。
2. 在 **General** 标签中定义仿真的结束时间和步数：

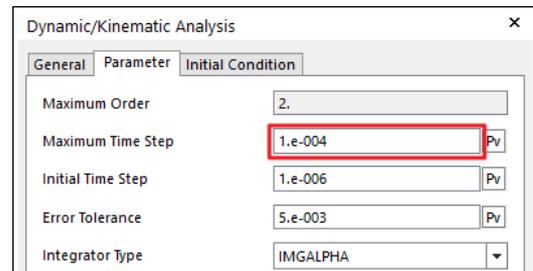
- **End Time:** 0.5
- **Step:** 500
- **Plot Multiplier Step Factor:** 4



3. 在 **Parameter** 标签中将 **Maximum Time Step** 变更为 **1. e-004**。

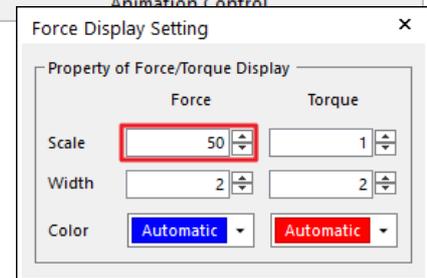
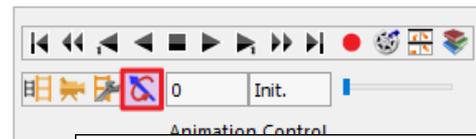
4. 点击 **Simulate**。

RecurDyn 计算球、弹簧和接触的运动和力。因为 Number of Steps 为 500，Plot Multiplier Step Factor 为 4，所以有 2000 个存储的绘图输出。



5. 在 **Analysis** 标签的 **Animation Control** 组中点击 **Force Display Setting**。

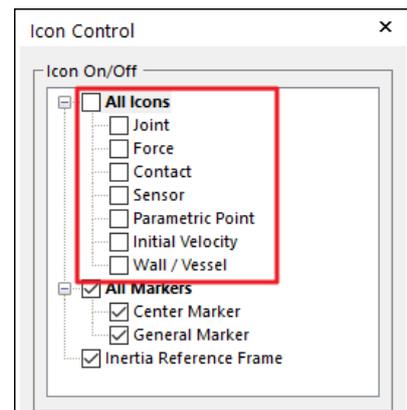
6. 为了更清楚的确认接触相关的 Force Display 结果，将 **Scale** 变更为 **50**。



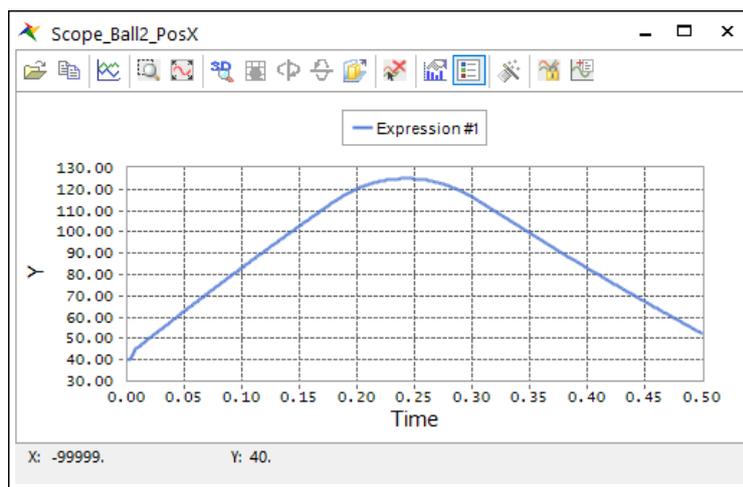
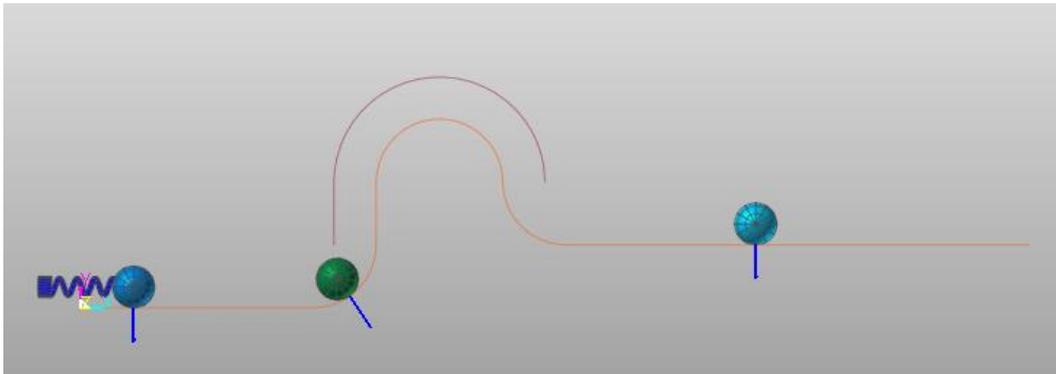
7. 在 **View Control** 工具栏中点击 **Icon Control**。

8. 取消选中 **All Icon** 以隐藏工作窗口的所有图标。

9. 关闭 **Icon Control** 窗口。



10. 在 Analysis 标签的 Animation Control 组中点击 Play 按钮使模型移动。



以上定义的 Expression 相关的 Scope 结果如下图所示。

如果想将弹簧的 **Free Length** 从 45mm 到 60mm 每 1mm 的增加去分析，则必须在窗口中手动修改值后并重复进行分析。如果不想手动进行这种重复性分析，自动化的 Design Study 将解决这一问题。

Chapter

6

运行 Design Study

任务目标

本章运行仿真刚刚创建的模型。在 **Design Study** 环境下，重复运行仿真，来确定如何选择弹簧，提供合适的越过驼峰的能量。



预计完成时间

30 分钟

运行 Design Study

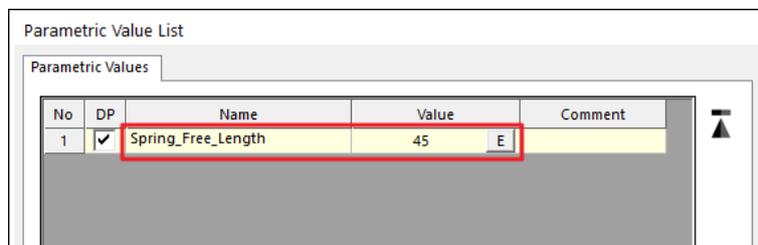
Design Study 的过程如下

1. 定义弹簧的自由长度为 **Parametric Value** 。
2. 根据 **Parametric Value** 定义 **Design Variable** 。弹簧的自由长度的范围为 45mm 到 60mm。
3. 定义 **Performance Index** 。在 **X** 方向，定义 **Ball_2** 的最大位置。如果 **Ball_2** 的最大位置超过 170，那么它已经通过了垂直障碍的顶部。
4. 设置 **Design Study** 的 **Number of Trials** 为 16（从 45 到 60，每 1mm 一步，需要变更 16 次才能通过 60mm）。
5. 运行 Design Study，输出会自动连接到不同的输出文件。
6. 查看 Design Study 的结果，并绘图。
7. 播放特定试验的动画。

定义参数值：

1. 显示弹簧（**Spring1**）的属性窗口。
2. 在 **Free Length** 文本框旁边，点击 **Pv** 按钮。
3. 在弹出的 **Parametric Value List** 窗口，点击 **Add** 按钮，输入以下信息。

▪ -Name: Spring_Free_Length



▪ -Value: 45

点击 **OK**，关闭 Parametric Value List 窗口。

4. 检查 **Free Length** 中 **PV** 是否正常输入，点击 **OK**，关闭 **Spring1** 属性窗口。

定义变量:



1. 在 Analysis 标签的 Simulation Type 组中, 点击 DOE。
弹出 Design Study 窗口。
2. 在 Design Study 窗口的 Design Variables, 点击 Add 按钮。
弹出 Design Variable List 窗口。
3. 在 Design Variable List 窗口, 点击 Create 按钮。
弹出 Design Variable 窗口。

4. 在 Design Variable 窗口, 进行以下设置:

- Name: DV_Spring_Lo
- Value: Spring_Free_Length
- Value: Absolute Min And Max Value
- Min Value: 45
- Max Value: 60

5. 点击 OK。
6. 在 Design Variable List 窗口中点击 OK。

定义 performance Index:

1. 在 Design Study 窗口的 Performance Indexes 部分, 点击 Add 按钮。
2. 弹出 Performance Index List 窗口。在 Performance Index List 窗口, 点击 Add 按钮, 输入以下内容。
 - Name: Ball_2_Travel
 - Type: Max Value

No	Name	Type	Expression
1	Ball_2_Travel	Max Value	Exp_Ball2_PosX

- Expression: Exp_Ball2_PosX

3. 在 Performance Index List 窗口中点击 OK。

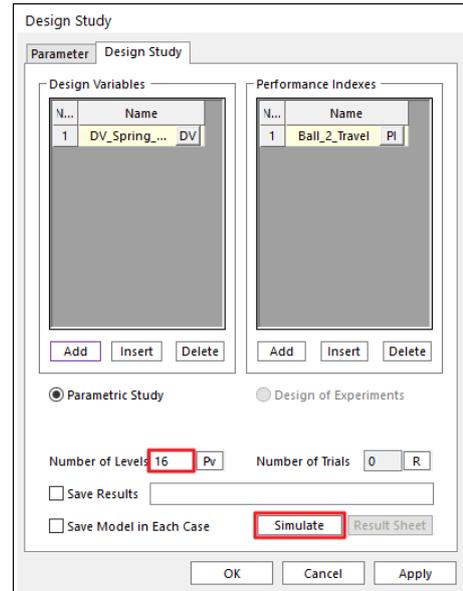
设置试验数:

在 Design Study 窗口的 **Number of Levels** 文本框，输入 16。

运行 Design Study:

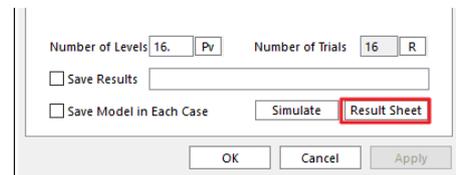
在 Design Study 窗口，点击 **Simulate** 按钮。

在 Output 出口，有 16 个工况。当完成运行后，会弹出 Design Study 窗口。

**查看绘图结果:****1. 点击 Result Sheet 按钮。**

弹出 16 个工况的列表:

- 第一列给出了弹簧的 Free Length 的值。
- 第二列给出了 Ball_2 中心的 X 的最大值。



Result Sheet

Trial	DV_Spring_LoD...	Ball_2_Travel
1	45.	125.007047933408
2	46.	128.535509833878
3	47.	129.560680509628
4	48.	130.053798293702
5	49.	130.083837021711
6	50.	130.098692200855
7	51.	130.965152738444
8	52.	132.434053619196
9	53.	132.76029762023
10	54.	156.10454697342
11	55.	361.387557125454

Design Variables: DV_Spring_LoDV1

Performance Indexes: Ball_2_Travel

Multi-variate: Ball_2_Travel

What-if Study

Export

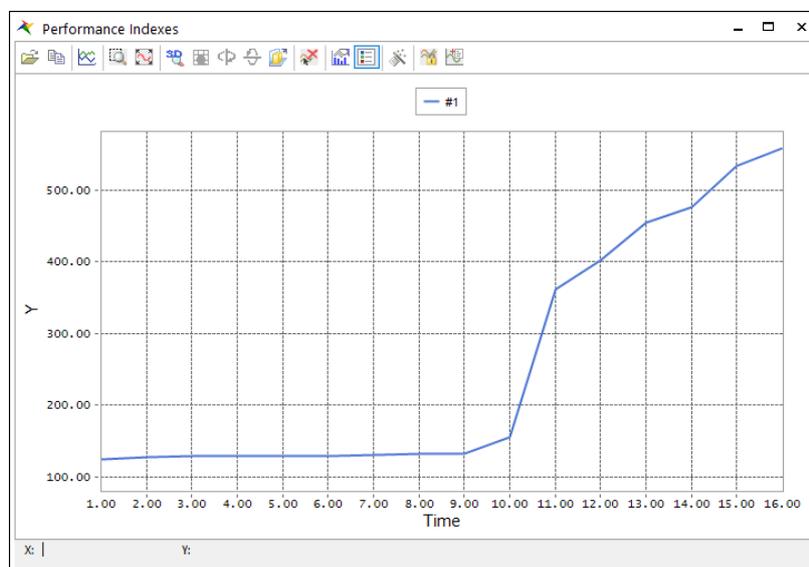
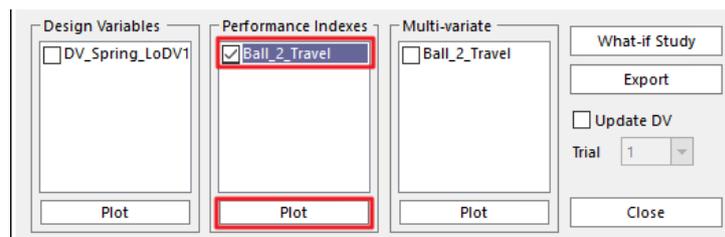
Update DV

Trial: 1

Plot Plot Plot

Close

2. 在 **Performance Indexes** 标题下，为了查看 Ball_2 的 Travel Performance Index 的绘图，点击 **Ball_2_Travel** 的文本框。
3. 点击 **Plot** 按钮，弹出以下窗口。
4. 关闭绘图窗口，并在 Result Sheet 窗口点击 **Close**。



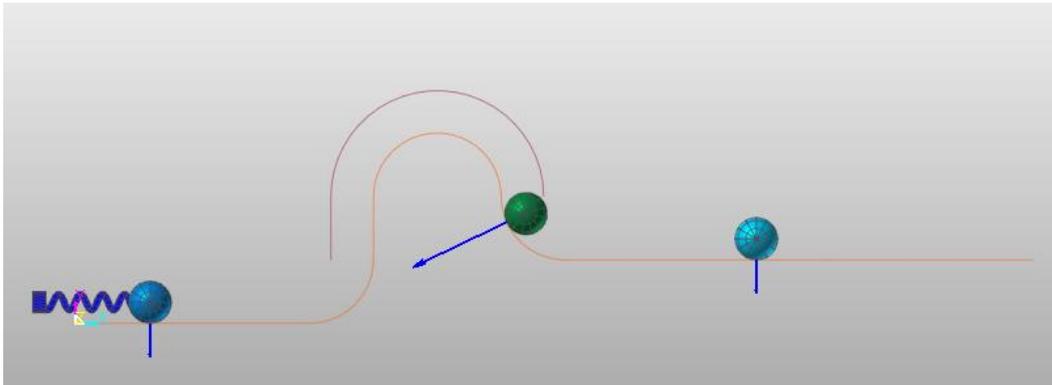
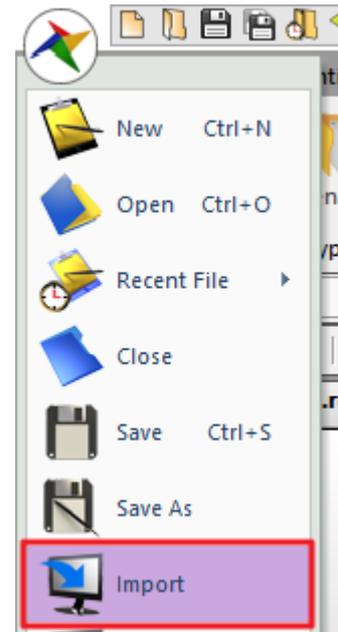
5. 点击 **OK**, 关闭 Design Study 窗口。

播放试验结果的动画

可以确认 Ball_2 第一次越过垂直障碍的试验是第 11 次试验。

播放特定试验的结果

1. 在 File 菜单，点击 **Import**。
2. 设置 Files of type 为 **RecurDyn Animation Data File (*.rad)**。
3. 双击 **Pinball_11.rad**，**Pinball_11.rad** 中有 Trial 11 的动画结果。
4. 单击 **Animation** 工具栏的 **Play** 按钮，播放模型动画。



使用 Select Camera 播放动画

1. 在 Analysis 标签的 Animation Control 组中点击 Select Camera。
2. 弹出 Camera 窗口，在 Camera Type 中选择 Following Camera。
3. 在 Target 的输入栏输入以下信息。

- Reference Marker: Ball_1.CM
- Offset:0,0,0

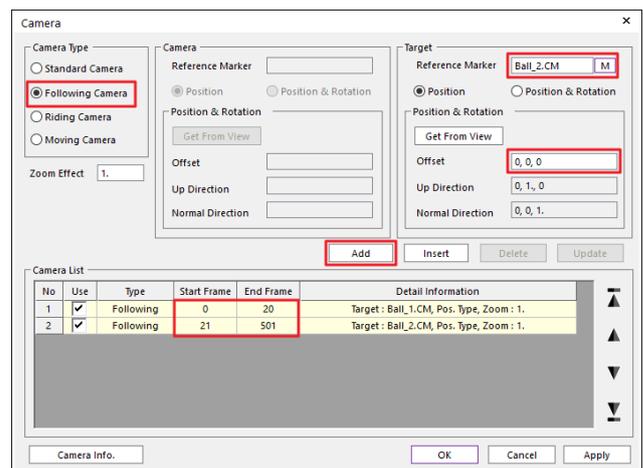
4. 单击 Add 按钮将其添加到 Camera List 中，并修改 List 中的以下信息。

- Start Frame: 0
- End Frame: 20

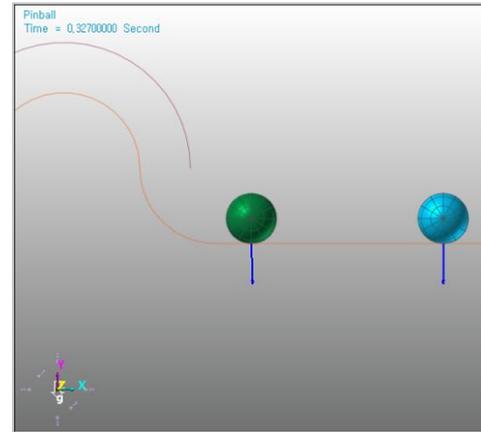
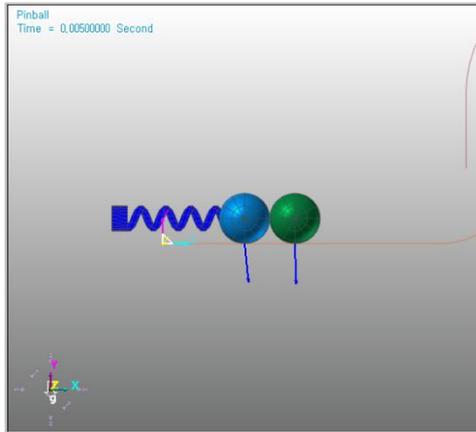
5. 利用以下信息重复 2-4 过程。

- Reference Marker: Ball_2.CM
- Offset:0,0,0
- Start Frame:21
- End Frame:501

6. 点击 OK。



如下图所示，Frame 从 0 到 20 时，动画随着 Ball_1 的 CM 进行播放。然后 Frame 从 21 到 501 时，动画随着 Ball_2 的 CM 进行播放。如果对每个 Frame 设置不同的 Camera Type，会有更好的表现。



进一步探索的思路

可以通过查看几个试验的动画，更好地理解弹球模型的运动行为。有几个方面需要考虑。

模型使用了低摩擦系数（0.1），它代表抛光钢球与光滑、干燥的表面接触的摩擦系数。对于新的弹球机来说，低摩擦符合实际情况，但是如果机器发生损耗(由灰尘和一些腐蚀)会怎样呢？

- 摩擦系数怎么改变？
- 为研究模型中增加的摩擦影响，应该怎么做？
- 增加的摩擦需要弹力更大的弹簧，还是弹力更小的？

感谢参与本教程学习!