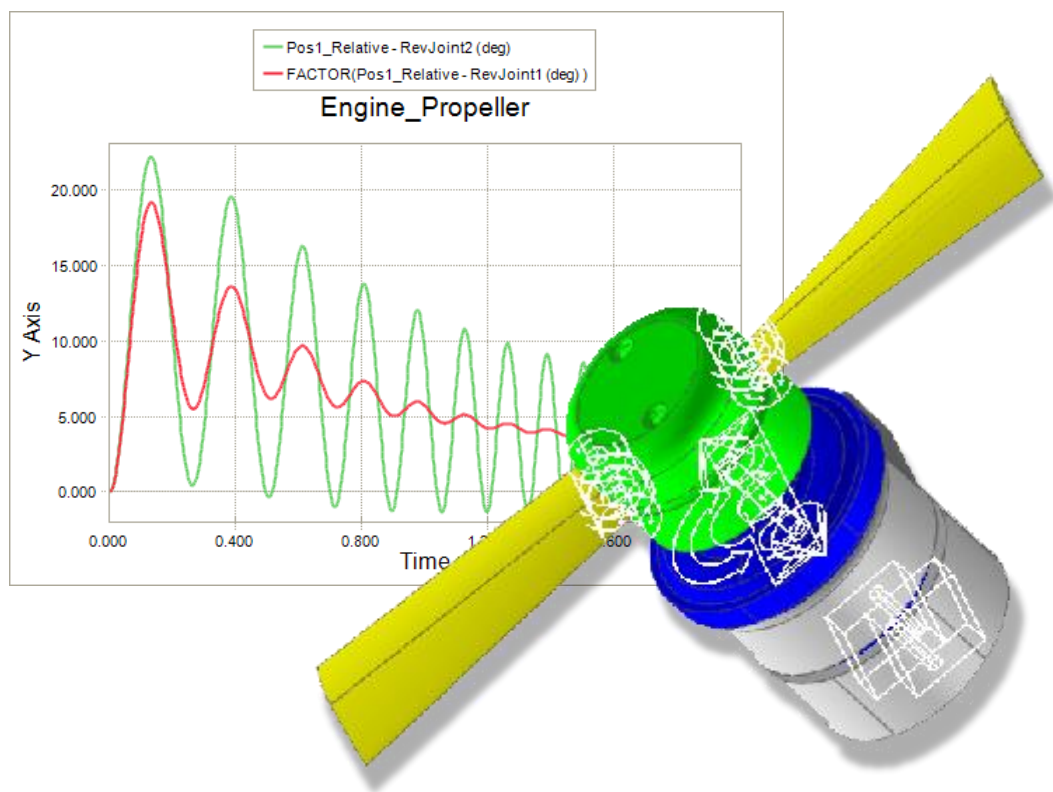


带螺旋桨的发动机教程



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/MIT2D, *RecurDyn*TM/MIT3D, *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 GLOBEtrotter 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

预备工作.....	4
目标.....	4
读者.....	5
预备知识.....	5
步骤.....	5
预计完成的时间.....	5
创建初始模型.....	6
任务目标.....	6
预计完成的时间.....	6
启动 RecurDyn.....	7
导入 CAD 几何模型.....	8
调整图标和标记的尺寸.....	14
保存模型.....	14
组织几何模型.....	16
任务目标.....	16
预计完成的时间.....	16
合并导入的几何模型.....	17
重命名物体.....	21
创建第二个螺旋桨叶.....	22
旋转新桨叶.....	23
保存模型.....	25
创建运动副.....	26
任务目标.....	26
预计完成的时间.....	26
用旋转副将桨叶连接到桨毂上.....	27
将螺旋桨毂连接到发动机上.....	28
用固定副将发动机固定到地面上.....	29
定义螺旋桨的旋转.....	29
保存模型.....	32
创建力.....	33
任务目标.....	33
预计完成的时间.....	33
控制螺旋桨的平移.....	34
控制螺旋桨叶的局部旋转.....	34
保存模型.....	35
运行分析.....	36

任务目标	36
预计完成的时间	36
运行 Dynamic/Kinematic 分析	37
创建视图及设置力显示	38
任务目标	38
预计完成的时间	38
创建旋转副旋转的视图	39
设置力显示	41
保存模型	41
运行设计研究	42
任务目标	42
预计完成的时间	42
调节旋转弹簧的刚度和阻尼	43
运行新的分析	44
在设计研究结果中需要考虑的问题:	46
进一步研究的想法:	46
结果绘图	47
任务目标	47
预计完成的时间	47
创建绘图	48

预备工作

目标

在本教程，将学习如何：

导入用 CAD 系统创建的几何模型体；

将导入的几何模型组织成仿真所需的部件；

定义弹簧力和扭簧力；

在建模环境的浮动窗口中，定义显示模型输出的示波器。

此外，还将练习之前教程中学过的技能，3D Slider Crank：

用螺旋桨毂连接左右桨叶，并将螺旋桨毂连接到发动机上的约束建模；

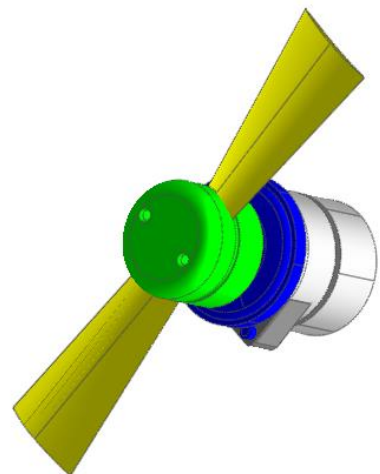
运行仿真，播放模型动画，得到图表结果。

综合以上所述，将会：

创建一个简单的带有螺旋桨的航空发动机模型；

学习螺旋桨末端点的运动与驱动轴的运动之间的关系；

用图表和动画来表示模型的输出。



读者

本教程适用于 RecurDyn 的新用户。所有新的任务都将会做详细说明。

预备知识

用户应当首先学习 3D Slider Crank 教程或其它相当教程。读者必须具备一些基本的物理知识。

步骤

本教程分为以下步骤。预计完成每个步骤的时间如下表所示。

步骤	时间（分钟）
建立仿真环境，导入几何模型	15
设置几何模型	20
创建运动副/运动	15
创建力	10
分析	5
创建视图和力显示	10
设计研究	15
作图/动画	10
总计	100



预计完成的时间

本教程大约需要花费 100 分钟来完成。

创建初始模型

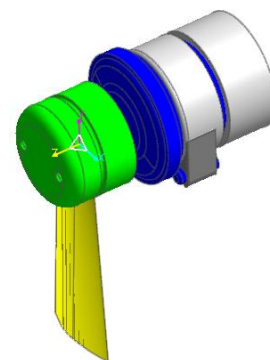
任务目标

首先将学习如何建立仿真环境，包括设置单位、材料、重力以及工作平面。此外，还将学习如何导入用于建立螺旋桨叶、螺旋桨毂以及发动机外罩的 CAD 几何模型。



预计完成的时间

15 分钟



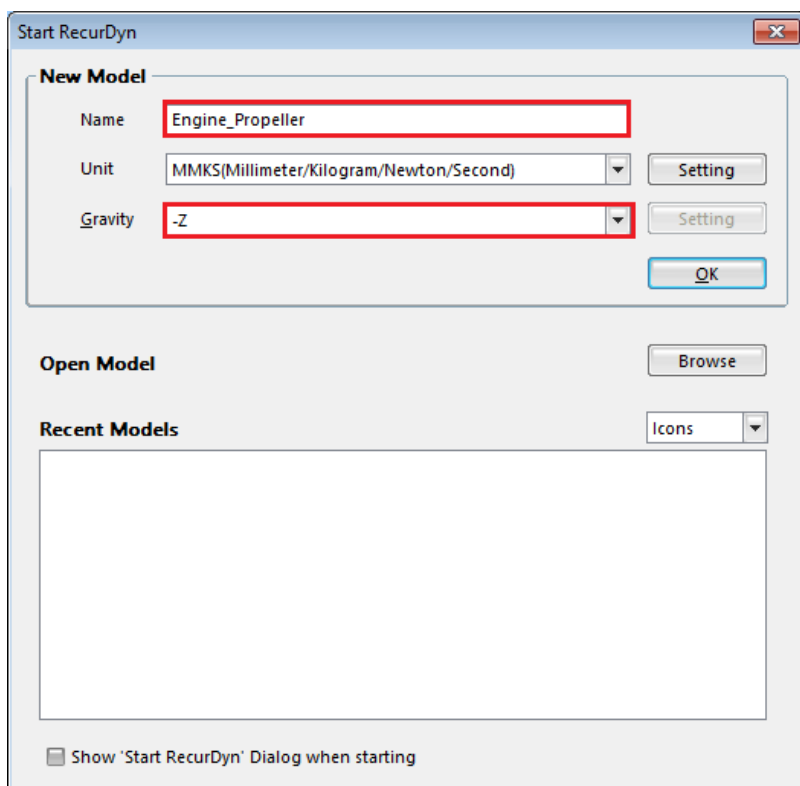
启动 RecurDyn



启动 RecurDyn，并创建一个新模型：

1. 双击桌面上的 RecurDyn 图标。

RecurDyn 启动，同时弹出 Start RecurDyn 对话框。



2. 在模型 Name 文本框内，输入新模型的名称 Engine_Propeller。
3. 将 Gravity 设为-Z，其它选项默认。
4. 点击 OK。

小贴士：元素中允许使用的字符

在模型名称或其它任何 RecurDyn 元素中都不能使用空格或特殊字符，如果想提高名称的易读性，可以在字符间加入下划线来分隔字符。

导入 CAD 几何模型

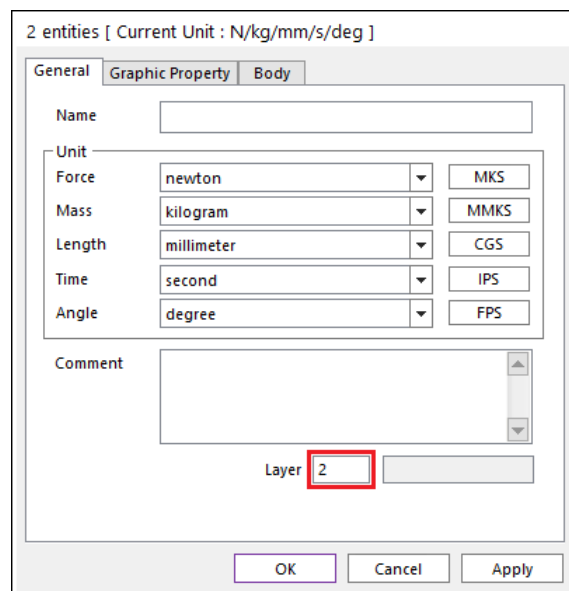
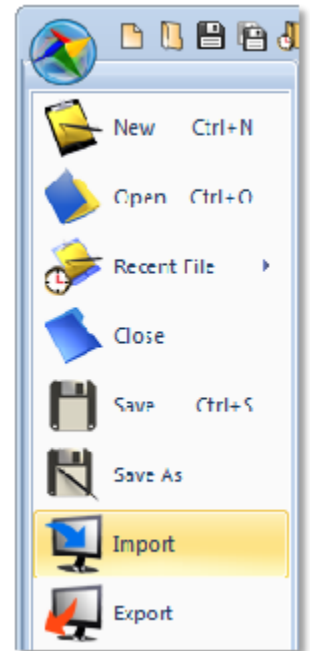
现在导入螺旋桨叶、螺旋桨毂以及发动机外罩 CAD 几何模型。这也是 RecurDyn 的典型功能。在 CAD 程序中，创建建模几何模型，并将 CAD 几何模型导入 RecurDyn 来分析。

导入螺旋桨叶几何模型：

1. 在 **File** 菜单下，点击 **Import**。
2. 在出现的导入窗口中，将 **Files of type** 设为 **ParaSolid File (*.x_t,*.x_b ...)**。
3. 在 RecurDyn 安装目录的 **Tut2_Engine_Propeller** 文件夹中，选择文件：**Prop_Blade.X_T**。注意这个文件夹的默认路径是 **<Install Dir>\Help\Tutorial\Professional\Basic\Tut2_Engine_Propeller**
4. 点击 **Open**。

注意桨叶的几何模型会出现在工作窗口，部件名称 **ImportedBody1** 和 **ImportedBody2** 会出现在数据库窗口中。

5. 选择 **ImportedBody1** 和 **ImportedBody2** 并进入 Multi-Property 对话框。



6. 在 **General** 选项下设置 **Layer** 为 2。

7. 点击 OK.



小贴士：如何显示实体的属性对话框

您可以在选定实体的属性对话框中修改实体的参数

下面是打开属性对话框的 3 种方法。

单击所需实体上的鼠标右键后，单击“弹出”菜单中的“属性”。

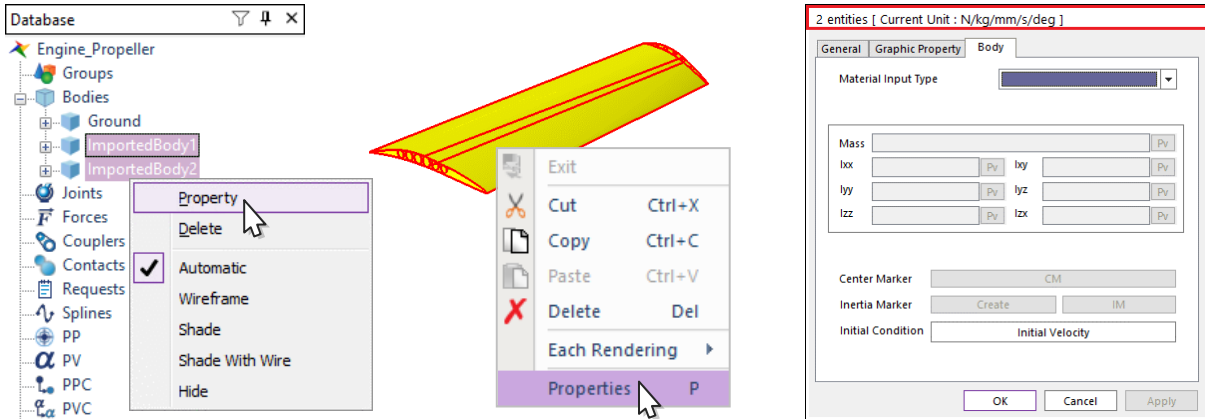
单击工作窗口中选定实体上的鼠标右键后，单击“弹出”菜单中的“属性”。

在数据库或工作窗口中选择所需实体后按下“P”键，这是键盘属性的快捷方式。

如何打开多属性对话框。

在数据库或工作窗口中选择多个实体后，通过上述 3 种方法打开对话框。

在“多属性”对话框的标题中，有多少个实体被选中，如下图所示。



小贴士：将图层设置应用于建模

图层是控制工作窗口上实体的图形绘制的工具。您可以通过使用层来安排实体并简化复杂的实体。排列良好的图层可以在“层设置”对话框中打开/关闭。

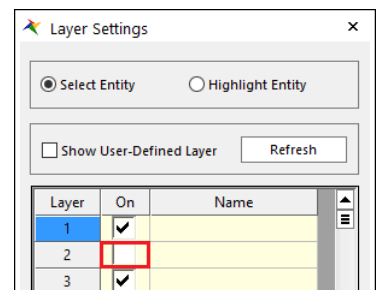
知道如何使用图层设置对话框。

a. 在属性对话框中的 General 选项卡上设置图层号。

(创建实体时，在工作层中自动生成层号)



b. 单击呈现工具栏的“图层设置”后，显示“图层设置”对话框。



c. 您可以在工作窗口中隐藏或显示所需的实体，方法是单独检查选项卡上的图层。熟知在“层设置”对话框中有哪些功能。

Layer Type: 有两种类型：选择实体，突出显示实体

Select Entity: 如果选中此类型，则在网格中选择层时，除子系统外，将选择当前子系统内的实体。这对于打开图层编号相同的实体的属性页非常有用。

Highlight Entity: 如果选中此类型，则只有在网格中选择层时，才会在工作窗口中突出显示实体。

Show User-Defined Layer: 在模型中使用 255 层。如果选中此选项，则显示网格上实体使用的唯一层。

Refresh: 层可以在“打开层”设置对话框中更改。但是，对话框中的层信息不会自动更新，此功能更新对话框中的层信息。

Layer: 工作层在对话框中以蓝色高亮显示。如果高亮显示层被关闭，则无法在工作窗口中显示所创建的实体。

On: 用户可以在“打开”复选框中设置该图层的可见性。用户可以通过单击 ON 列的顶部来选择或取消选中所有复选框。

Name: 用户可以通过简短的描述来设置图层名。如果用户设置名称，则该层名称将显示在实体的属性页中。

Note: 无法更改实体属性页中的图层名。

Shortcut: 用户可以使用快捷方式切换图层的可见状态。

Layer1~Layer9 快捷键: Ctrl + 1~9 键

选择 All Layer 快捷键: Ctrl + 0 键

2

Layer Settings

Select Entity Highlight Entity

Show User-Defined Layer Refresh

Layer	On	Name
1	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	<input checked="" type="checkbox"/>	

Show All Close

2 entities [Current Unit : N/kg/mm/s/deg]

General Graphic Property Body

Name:

Unit:

Force: MKS

Mass: MMKS

Length: CGS

Time: IPS

Angle: FPS

Comment:

Layer:

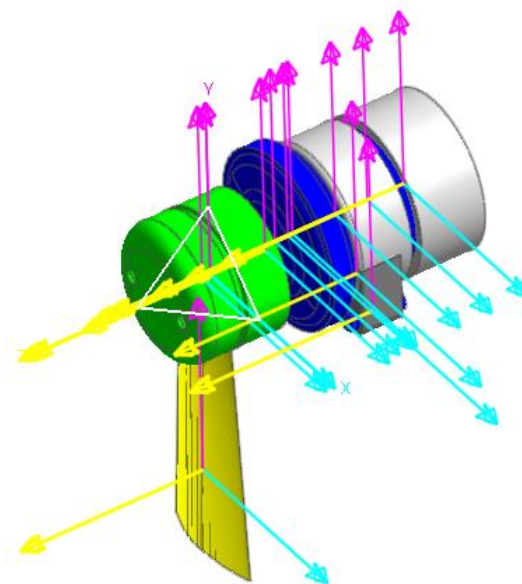
OK Cancel Apply

导入剩余几何模型:

1. 重复上述步骤，但是这次在 RecurDyn 安装目录的 **Tut2_Engine_Propeller** 文件夹中选择文件 **Prop_Hub.X_T**。

注意桨毂的几何模型会出现在工作窗口，部件名称 **ImportedBody3** 和 **ImportedBody4** 会出现在数据库窗口。

2. 将 **InputdBody 3** 和 **ImplitdBody 4** 的层数更改为 3。
3. 重复上述步骤，但是这次在相同的 RecurDyn 安装目录的 **Tut2_Engine_Propeller** 文件夹中选择文件 **Engine.X_T**。



注意发动机的几何模型会出现在工作窗口，8个新的部件名称会出现在数据库窗口。

4. 将新进口的 8 个机身(**ImportedBody5 ~ ImportedBody11** 与 **NONE_4**)的层数改为第 4 层
工作窗口将会显示导入的几何模型，如右图所示。

修改层设置对话框



1. 点击 **Layer Settings** at **Render Toolbar**.

将显示“层设置”对话框。

2. 勾选 **Show User-Defined Layer**,

为了只看到定义的模型层。

3. 更改层的名称，如下所示。

Name of Layer1: Working Layer

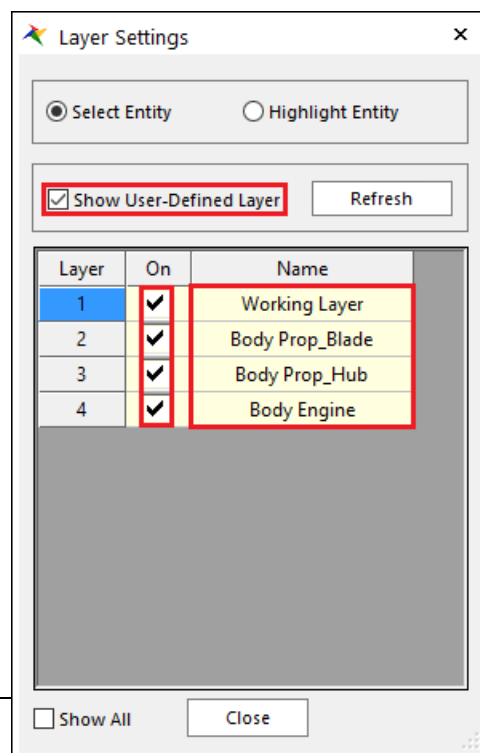
Name of Layer2: Body Prop_Blade

Name of Layer3: Body Prop_Hub

Name of Layer4: Body Engine

通过检查和取消检查“打开”复选框，确认层是否与每个主体匹配良好。

点击 **Close**.



调整图标和标记的尺寸

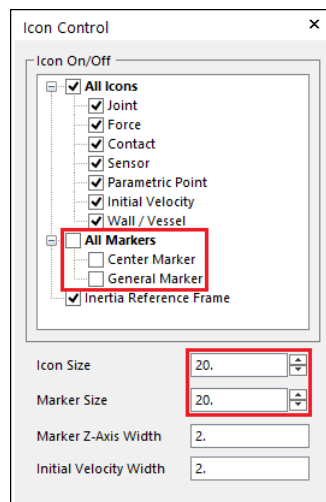
现在需要把图标和标记的尺寸调节到 20 像素，这样图标不会遮挡住模型。

改变图标和标记的尺寸：

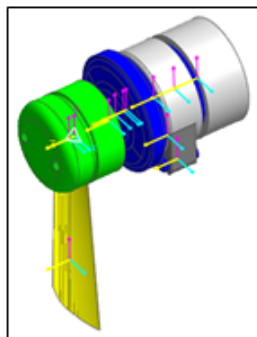


1. 点击工具栏上的 **Icon Control** 工具，弹出 **Icon Control** 对话框。弹出图标对话框。
2. 将 **Icon Size** 和 **Marker Size** 设为 20。
3. 不勾选 **All Markers** 对话框。
4. 关闭图标控制对话框。(通过右上角的 **x**)

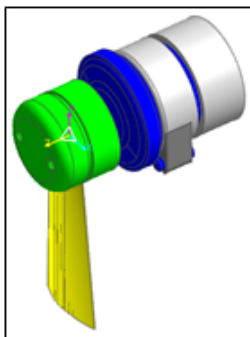
所显示的几何模型会从前一页所示变为下图所示。



Marker Icon Display On



Marker Icon Display Off



小贴士：启动/关闭标记的显示

除了改变标记及其它元素图标的大小，还可以关闭图标的显示。

保存模型

保存模型：

在继续下一章之前，保存模型。

1. 在 **File** 菜单中，点击 **Save**。
 2. 输入文件的名称和路径。
-

3. 点击 **Save**。

设置几何模型

任务目标

一般而言，当导入 CAD 几何模型时，RecurDyn 会将其转化为一些对应于 CAD 模型中分离的实体的一些部件。但是，这些分离的实体实际上一起移动，所以应该在 RecurDyn 中合并成一个单独的部件。

例如，在第一章中，螺旋桨叶的导入创建了两个部件，螺旋桨毂的导入创建了另外两个部件。螺旋桨叶的两个部件对应桨叶的支撑和表面。螺旋桨毂的两个部件对应桨毂和轴。

在这个模型中，希望将导入的两个螺旋桨叶的部件作为一个单独的 RecurDyn 部件移动，同时将导入的螺旋桨毂和发动机的相应部件也一起移动。在本章中，将学习将导入的部件合并在一起，建立一个可以高效运作的 RecurDyn 模型。



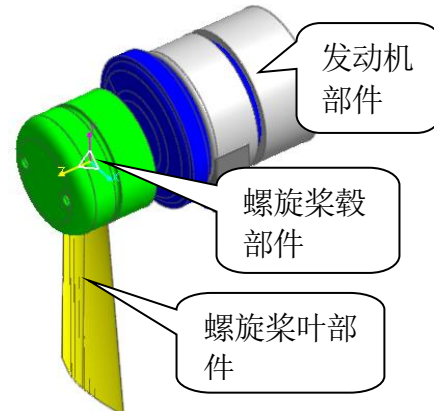
预计完成的时间

20 分钟

合并导入的几何模型体

下表显示了将在 RecurDyn 模型中用到的部件与导入的部件之间的关系。需要把导入的几何模型合并成发动机部件、螺旋桨毂部件以及螺旋桨叶部件。每个合并的部件质量是所有相应导入几何模型立体的质量之和。

部件名称	导入的几何模型
Prop_Blade	ImportedBody1, ImportedBody2
Prop_Hub	ImportedBody3, ImportedBody4
Engine	ImportedBody5, NONE_4, ImportedBody6, ImportedBody7, ImportedBody8, ImportedBody9, ImportedBody10, ImportedBody11



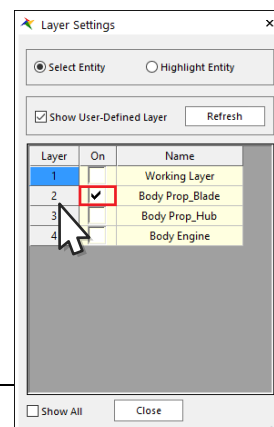
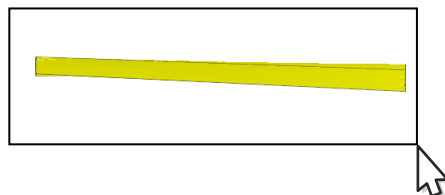
合并螺旋桨叶几何模型:

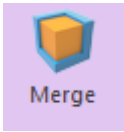
合并步骤包括两步。首先，选择需要合并的部件（源部件）。然后选择需要将所有源部件几何模型合并成的目标部件。目标部件可以是源部件之一，而且这样很方便。通常选择源部件最简单的方法是在模型窗口中拖选出一个包括了源部件的框。

1. 在工具栏中，选择 **YZ** 工作平面。
2. 通过点击 **Render Toolbar** 工具栏的 **Layer Settings** 打开层设置。

仅对 **Layer2** 勾选 **On** 确认被定义为螺旋桨叶片的实体。

3. 在工作窗口中，拖选出一个包含了所有螺旋桨左叶部件的框，如图所示。
4. 选中在数据库窗口中名为 ImportedBody1 和 ImportedBody2 的部件。





5. 在 **Home** 标签中的 **Tools** 组下，点击 **Merge**。

弹出合并部件对话框，选中 **ImportedBody1** 和 **ImportedBody2**。

6. 点击 **B** 按钮，选择目标部件。

7. 进行以下步骤，选择目标部件：

在工作窗口中，点击螺旋桨。选中 **ImportedBody2**，
不论 **ImportedBody1** 是否被选中。

或者

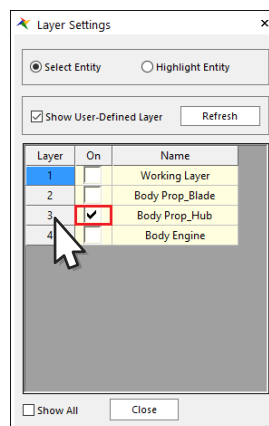
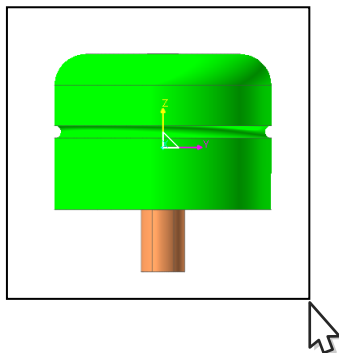
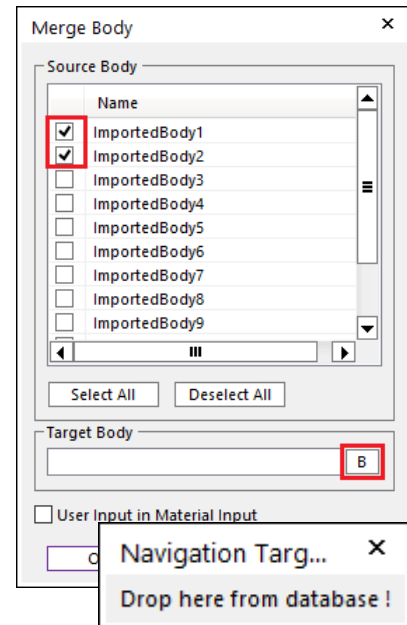
在数据库窗口中，将名称为 **ImportedBody2** 的部件拖拽到在
建模窗口右上角出现的 **Navigation Target** 窗口中。

8. 点击 **OK**。

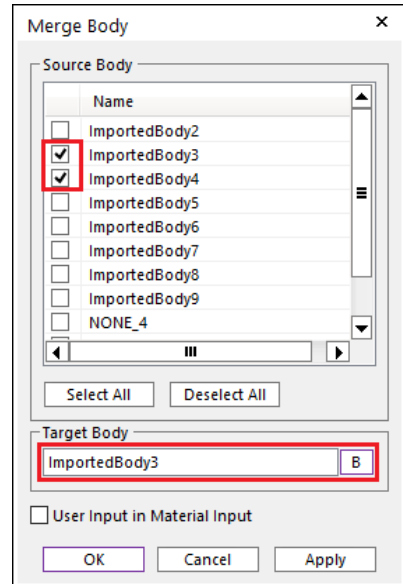
合并螺旋桨毂几何模型：

1. 激活第 3 层，以查看将被定义为螺旋桨轮毂的实体

2. 选择桨毂和轴几何模型，如右图所示。在数据库窗口中选中名称为 **ImportedBody3** 和 **ImportedBody4** 的部件。

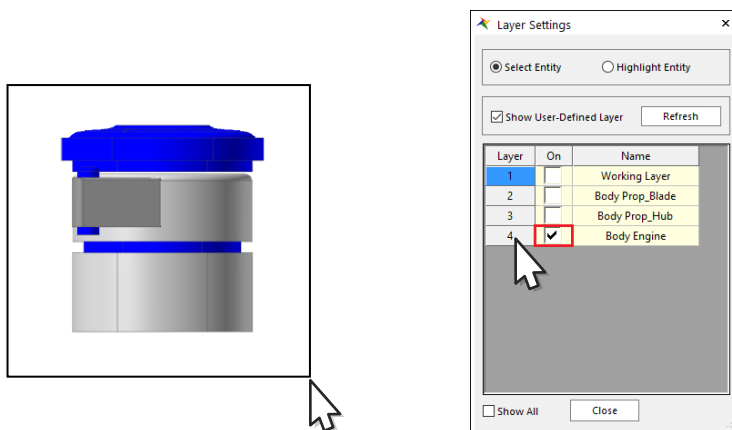


- 跟前面的步骤一样，选择 **Merge** 工具。弹出合并部件对话框，选中 ImportedBody3 和 ImportedBody4。
- 点击 **B** 按钮。
- 对目标部件，选中螺旋桨毂几何模型(ImportBody3)。
- 点击 **OK**。

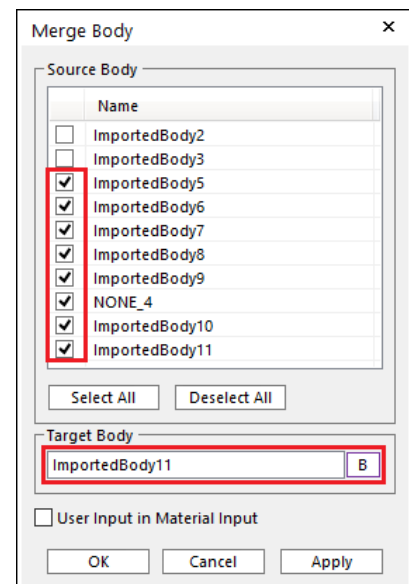


合并发动机几何模型体:

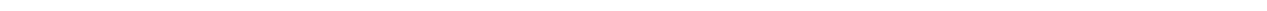
- 激活第 4 项，以查看将定义为引擎的主体。
- 在发动机几何模型体外，拖拽选择框，如图所示。部件名称 ImportedBody3 到 ImportedBody11 会在数据库窗口被选中。



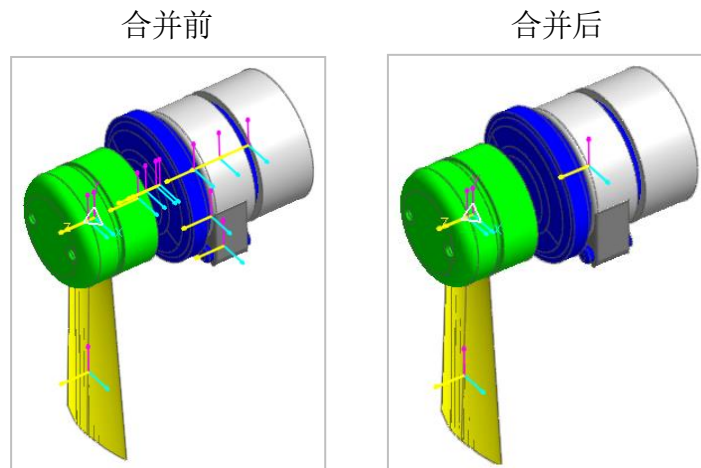
- 跟前面的步骤一样，选择 **Merge** 工具。弹出合并部件对话框。我们不想包含部件 ImportedBody3，因为这是螺旋桨毂和轴，所以不勾选该部件。结果源部件列表会显示如图。
- 点击 **B** 按钮。
- 对目标部件，选择发动机上最底部的几何模型体 (ImportedBody11)。
- 点击 **OK**。
- 激活“层设置”对话框中的所有选项以查看整个实体。



8. 关闭层设置对话框.



注意，标记的数量减少了，因为部件分离时，每个部件都有一个标记用于定义其质量中心。现在，部件合并后，这三个部件，每个都只包含一个部件和一个位于合并后质量中心位置的标记，如下图所示。



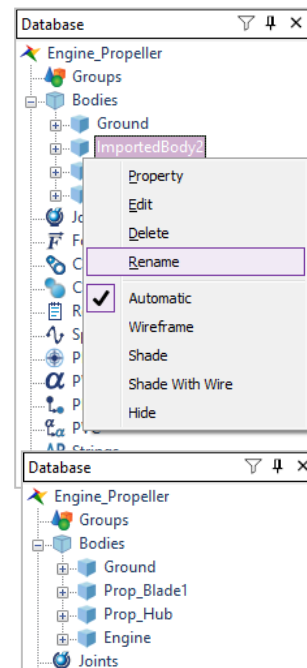
重命名物体

现在可以改变这三个部件的名称，以便更容易区分。

改变名称：

1. 在数据库窗口中，右键点击 **ImportedBody2**。
2. 在弹出的菜单中，选择 **Rename**。
3. 输入名称 **Prop_Blade1**。
4. 重复步骤 1–3，将部件 **ImportedBody3** 重命名为 **Prop_Hub**，部件 **ImportedBody11** 重命名为 **Engine**。

数据库窗口中会显示如右图所示的部件列表。



创建第二个螺旋桨叶

现在将通过复制第一个桨叶，创建第二个螺旋桨叶。

创建第二个螺旋桨叶：

1. 复制螺旋桨之前，检查并保证选项 **Shift when pasting** 已关闭：
 - a. 在 **Home** 标签中的 **Model Settings** 组，点击 **Display**。弹出显示对话框。
 - b. 选择 **Advanced** 标签。确保 **Shift when pasting** 未勾选。
 - c. 点击 **OK**。
2. 旋转图形，以得到螺旋桨的正面视角：

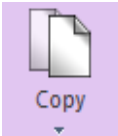


选择 **Change to XY**。

3. 在工作窗口中，选择 **Prop_Blade1**。小贴士：也可以把光标移动到数据库窗口中的 **Prop_Blade1** 名称上，然后点击。

现在可以通过复制粘贴来创建第二个螺旋桨叶。**RecurDyn** 作为一个 **Windows** 应用，支持多种复制粘贴方法。

4. 复制桨叶：



键盘输入 **Ctrl-C**。

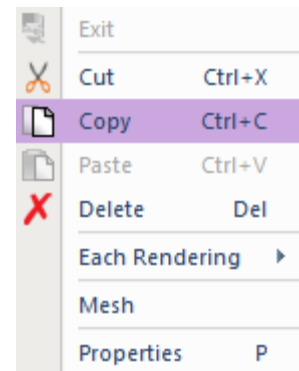
或者



在 **Home** 标签中的 **Clipboard** 组中，点击 **Copy**。

或者

在工作窗口中，右键点击，并在弹出的菜单中点击 **Copy**。



5. 粘贴螺旋桨时，可以用平时复制时的相同方法 (**Ctrl+V**， 点击 **Paste**， 或使用上文解释过的相同菜单)。

现在还看不到新的桨叶，因为其与原来的桨叶重合。但是，在数据库窗口中，会出现一个新的部件元素，**C1_Prop_Blade1**。注意，在数据库窗口中，RecurDyn 会将 **C1_** 添加到原部件名称前，作为新部件的名称。

旋转新桨叶

现在需要旋转新的桨叶，使其出现在发动机轴线的原桨叶对面。

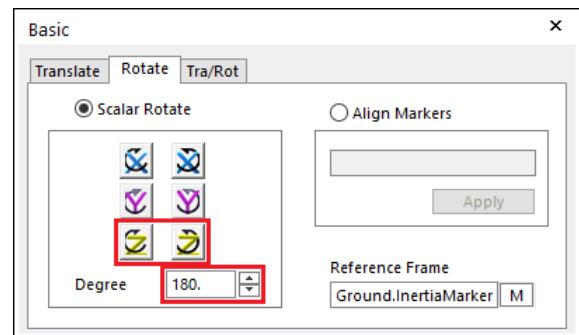
旋转桨叶：

1. 在工具栏中，点击 **Basic Object Control** 工具，显示 **BasicObject Control** 对话框，**Translate** 标签处于激活状态。

2. 确保选中部件 **C1_Prop_Blade1** (新螺旋桨叶)。

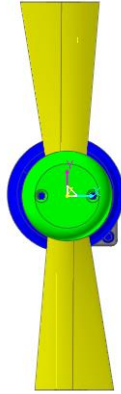
3. 在 **Basic Object Control** 对话框中，点击 **Rotate** 标签。

4. 将 **Degree** 值改为 180。



5. 点击 **Z Rotation** 工具之一，将桨叶旋转 180°(旋转任何方向都会得到相同的结果。)

现在的模型将如下图所示。



小贴士：如何在不同的坐标系统中旋转

在 **Object Control Panel** 中默认为将对象在整体坐标系统中旋转（参考系文本框的默认值）。如果需要将物体在不同的参考系中围绕轴旋转，点击 **M** 按钮，并选择相应的标记。

6. 关闭 Basic Object Control 对话框 (通过右上角的 x)。

通过在属性对话框中打开 General 选项卡，更改 c1_prop_Blade 1 的信息，类似于下面的配置。

Name: Prop_Blade2

Layer: 2

保存模型

在继续下一章之前，保存的模型。(小贴士：在 **File** 菜单中，点击 **Save**，或在 **RecurDyn** 窗口顶部的快捷工具栏中，点击 **Save** 图标。)

创建运动副

Chapter

4

任务目标

在本章中，将创建几个运动副。包括：

一个将各螺旋桨叶连接到螺旋桨上的旋转副

一个将螺旋桨毂连接到发动机上的圆柱副

一个将发动机固定到地面上的固定副

还将定义螺旋桨的旋转。



预计完成的时间

15 分钟

用旋转副将桨叶连接到桨毂上

在本节中，将使用旋转副，将螺旋桨叶连接到螺旋桨毂上。先设置工作平面，再调节网格尺寸。一个各个方向都是 10 的网格，会方便使用其来放置一些需要定义的运动副。

设置工作平面：

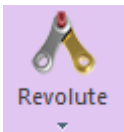
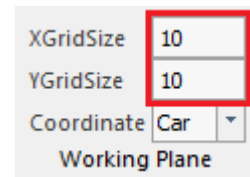


将工作平面设置为 **YZ Plane**。

调节网格尺：

在 **Home** 标签的 **Working Plane** 组中，设置如下：

1. **XgridSize**: 输入 10 后，按回车
2. **YgridSize**: 输入 10 后，按回车



将 **Prop_Blade1** 连接到螺旋桨毂上：

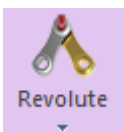
1. 在 **Professional** 标签的 **Joint** 组中，点击 **Revolute**。



2. 将创建模式工具栏设为：**Body, Body, Point**
3. 点击 **Prop_Hub** 几何模型。
4. 点击 **Prop_Blade1** 几何模型(左侧)。



5. 在 **Input Window** 工具栏中，输入点 -5, -31, 6。(输入值后，按回车键)

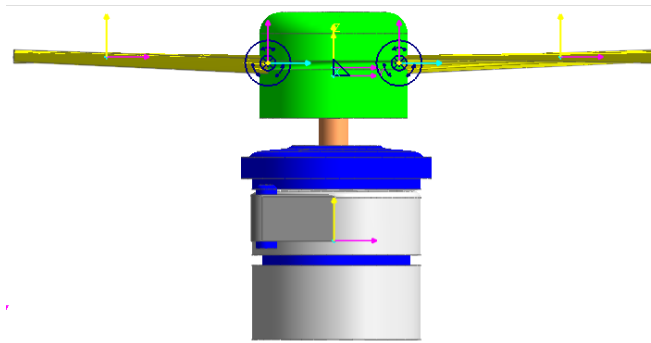


将 **Prop_Blade2** 连接到螺旋桨毂上：

1. 再次点击 **Revolute**。

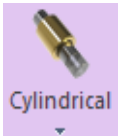
2. 保持 **Creation Method** 工具栏为: **Body, Body, Point**。
3. 点击 **Prop_Hub** 几何模型。
4. 点击 **Prop_Blade2** 几何模型(右侧)。
5. 在输入 **Window** 工具栏中, 输入点-5, 31, 6。

现在可以看到运动副图标, 如下图所示。

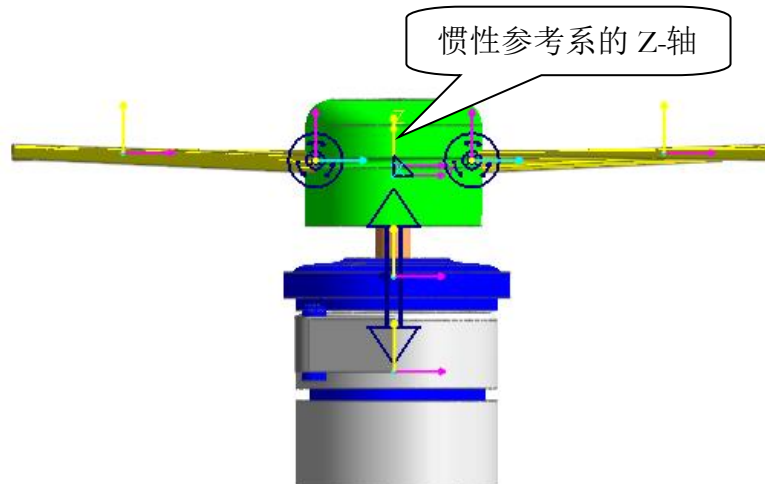


将螺旋桨毂连接到发动机上

用圆柱副, 将螺旋桨毂部件连接到发动机部件上:



1. 在 **Professional** 标签中的 **Joint** 组中, 点击 **Cylindrical**。
2. 将 **Creation Method** 工具栏设为: **Body, Body, Point, Direction**
3. 点击 **Engine** 几何模型。
4. 点击 **Prop_Hub** 几何模型。
5. 在工作窗口中, 点击 **0, 0, -40** 或在 **Input Window** 工具栏中输入 **0, 0, -40**。
6. 设置方向, 点击惯性参考系的 **Z** 轴 (在螺旋桨毂中心, 指向上的黄色箭头)。

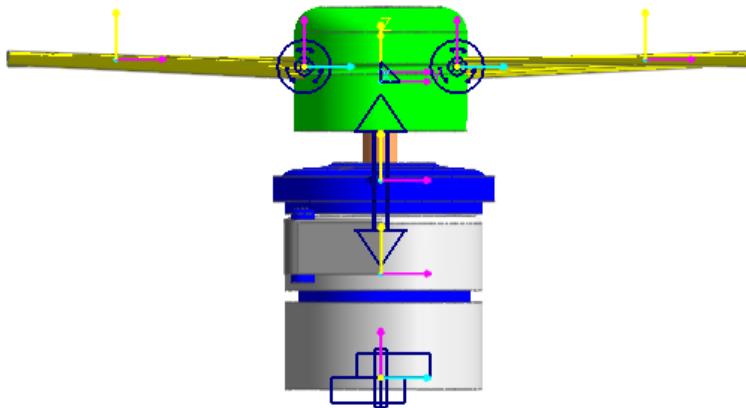


用固定副将发动机固定到地面上

用固定副，将发动机部件固定到地面上：

1. 在 **Professional** 标签的 **Joint** 组中，点击 **Fixed**。
2. 将创建模式工具栏设为：**Body, Body, Point**。
3. 选择地面，点击工作窗口中任意没有几何模型的位置。
4. 点击 **Engine** 几何模型。
5. 在工作窗口中，点击点 **0, 0, -120** 或在 **Input Window** 工具栏中键入 **0, 0, -120**。

现在可以看到运动副图标，如下图所示。

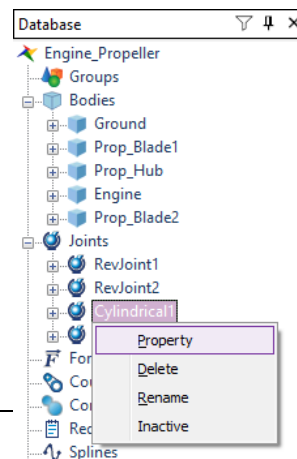


定义螺旋桨的旋转

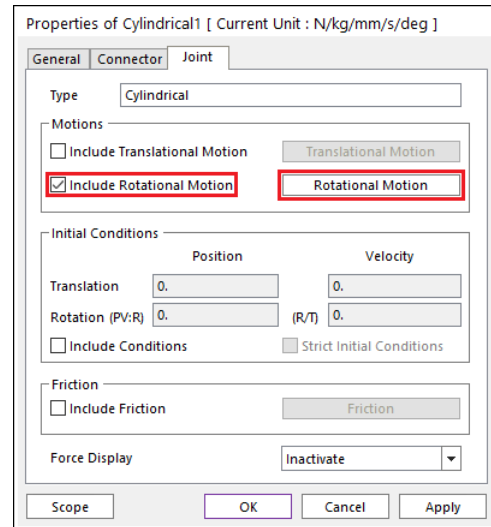
现在，将定义螺旋桨的固定加速度，在仿真开始 0.1 秒后启动。

定义螺旋桨的旋转：

1. 显示圆柱副的属性对话框。



2. 勾选 **Include Rotational Motion** 对话框。



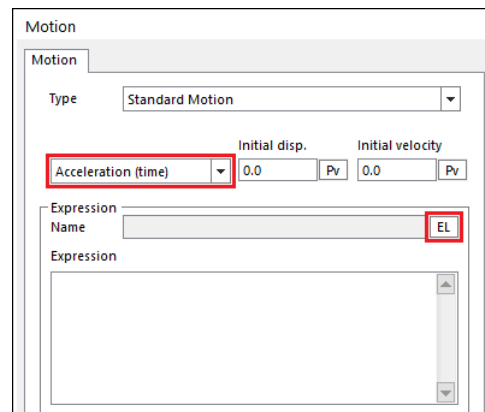
3. 点击 **Rotational Motion**。

弹出运动对话框。

4. 将以 **Displacement(time)**标记的菜单设为 **Acceleration (time)**。

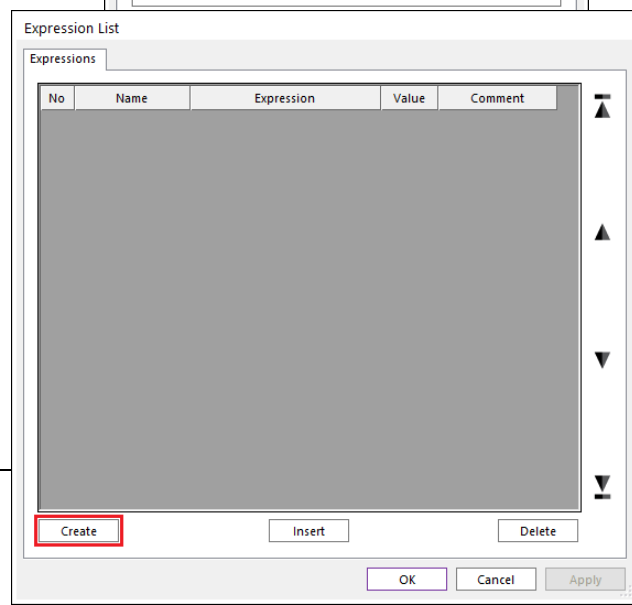
5. 点击 **EL**。

弹出表达式列表对话框。



6. 点击 **Create**。

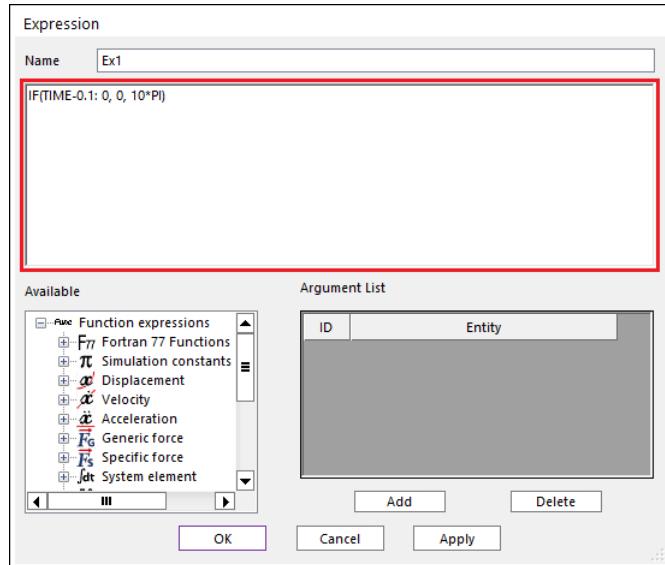
弹出表达式对话框。





- 仿真开始 0.1 秒后，定义 10π radians/sec² 的加速度，将以下表达式输入大文本框：

IF(TIME-0.1: 0, 0, 10*PI)

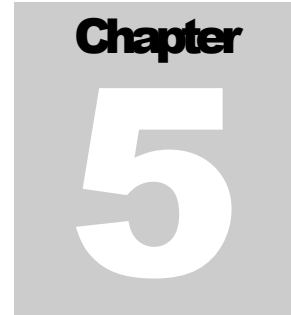


- 点击 **OK**，退出 **Expression** 对话框。
- 点击 **OK**，退出 **Expression List** 对话框。
- 点击 **OK**，退出 **Motion** 对话框。
- 点击 **OK**，退出 **Cylindrical Joint Property** 对话框。

保存模型

在继续下一章之前，保存模型。(小贴士：在 **File** 菜单中，点击 **Save**)

创建力



任务目标

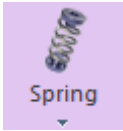
在本章中，将学习创建控制螺旋桨的平移和螺旋桨叶局部旋转的力。



预计完成的时间

10 分钟

控制螺旋桨的平移



在螺旋桨毂和发动机之间，创建一个平移的弹簧力：

1. 在 **Professional** 标签的 **Force** 组中，点击 **Spring**。
2. 将创建模式工具栏设为：**Body, Body, Point, Point**。
3. 点击 **Engine** 几何模型。
4. 点击 **Prop_Hub** 几何模型。
5. 在工作窗口中，点击 **0, 0, -80** 或者在输入 **Window** 工具栏中，输入 **0, 0, -80**。
6. 在工作窗口中，点击 **0, 0, -40** 或者在输入 **Window** 工具栏中，输入 **0, 0, -40**。

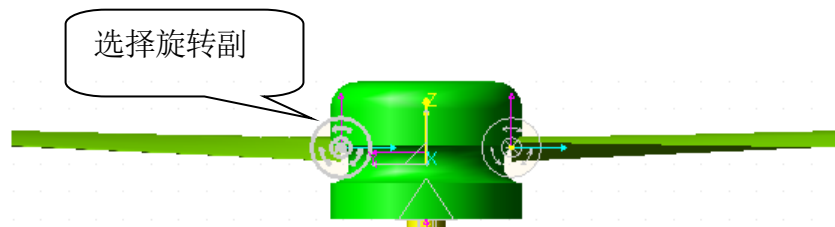
控制螺旋桨叶的局部旋转



控制螺旋桨叶的局部旋转时，可以创建两个扭转弹簧。

创建 **Prop_Hub** 和 **Prop_Blade1** 之间的扭转（旋转）弹簧：

1. 在 **Professional** 标签的 **Force** 组中，点击 **Rotational Spring**。
2. 在 **Creation Method** 工具栏中，选择运动副。
3. 在 **Prop_Blade1**(左侧)，点击 **Revolute Joint (RevJoint1)**。

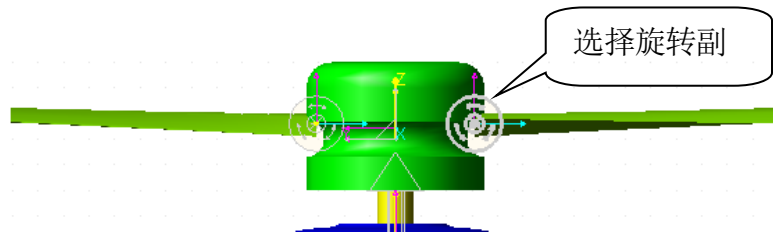


创建 **Prop_Hub** 和 **Prop_Blade2** 之间的扭转（旋转）弹簧：

1. 再次选择 **Rotational Spring** 工具。



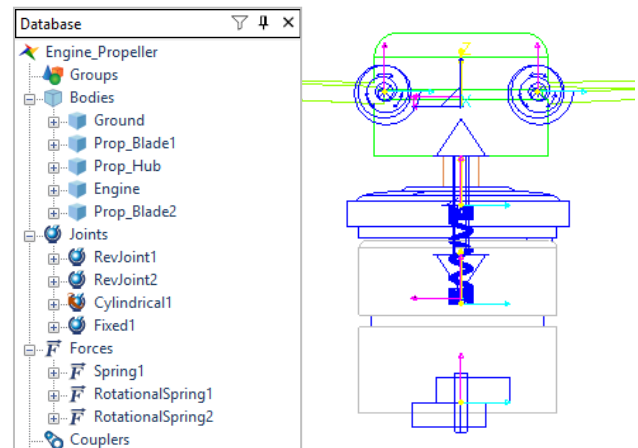
2. 在 **Prop_Blade2**(右侧)点击 **Revolute Joint (RevJoint2)**。



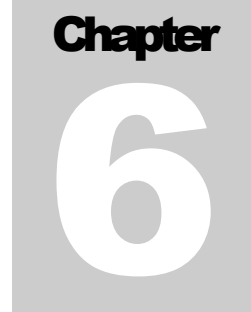
可以看到新的力图标，如下图所示，新的运动副和力元素同时显示在数据库窗口中。

保存模型

在继续下一章之前，保存模型。(小贴士：在 **File** 菜单中，点击 **Save**。)



运行分析



任务目标

在本章中，将运行刚刚创建的模型的仿真。稍后，在本教程中，重复运行几次仿真，试验不同的模型参数带来的差别。



预计完成的时间

5 分钟

运行 Dynamic/Kinematic 分析

运行动力学/运动学分析，查看力和运动对模型的影响。

运行动力学/运动学分析：



1. 在 **Analysis** 标签的 **Simulation Type** 组中，点击 **Dyn/Kin**。

弹出动力学/运动学分析对话框。

2. 定义仿真的结束时间和步数：

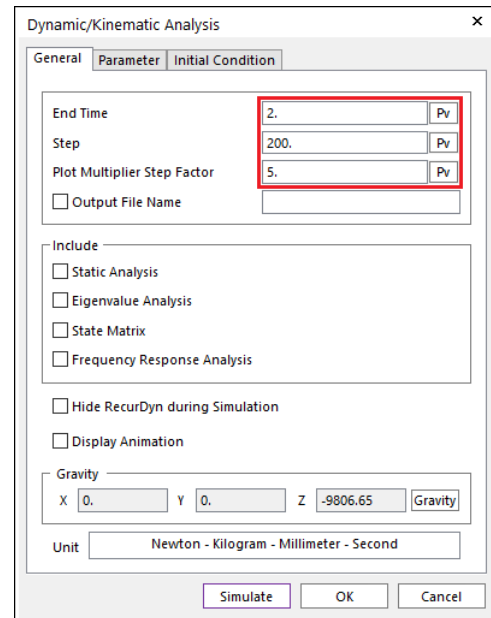
End Time:

Step: 200

Plot Multiplier Step Factor: 5

3. 点击 **Simulate**。

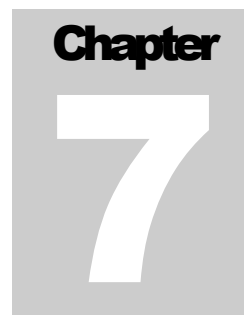
RecurDyn 会计算作用在带螺旋桨的发动机模型上的运动和力。会存储 1000 个图表输出，因为步数为 200，**Plot Multiplier Step Factor** 为 5。



4. 用 **Analysis** 标签的 **Animation Control** 组中的 **Play**，播放模型动画。关于如何播放动画的详细信息，参照 3D Crank Slider 教程。

5. 点击 **Stop**，重置模型。

创建示波器及设置力显示



任务目标

在运行其它仿真之前，需要创建数据输出示波器，使在模型启动时可以在一个小的图表窗口中观察分析结果。这个示波器可以方便监控角度、点、元素和部件元素，在这个模型中，还可以用视图来监控桨叶的局部旋转动作。此外，可以用力显示，监控将桨叶连接到桨毂上的旋转副的力。



预计完成的时间

10 分钟

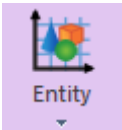
创建旋转副旋转的示波器

可以创建两个示波器，分别用于观察：

RevJoint1 的旋转，连接 Prop_Blade1 与 Prop_Hub

RevJoint2 的旋转，连接 Prop_Blade2 与 Prop_Hub

在运动副上创建示波器：

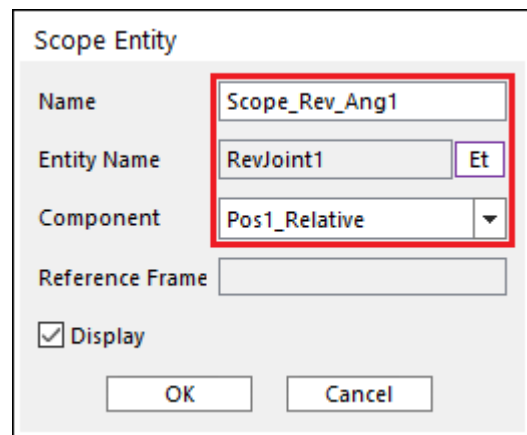


1. 在 Analysis 标签的 Scope 组，点击 Entity。

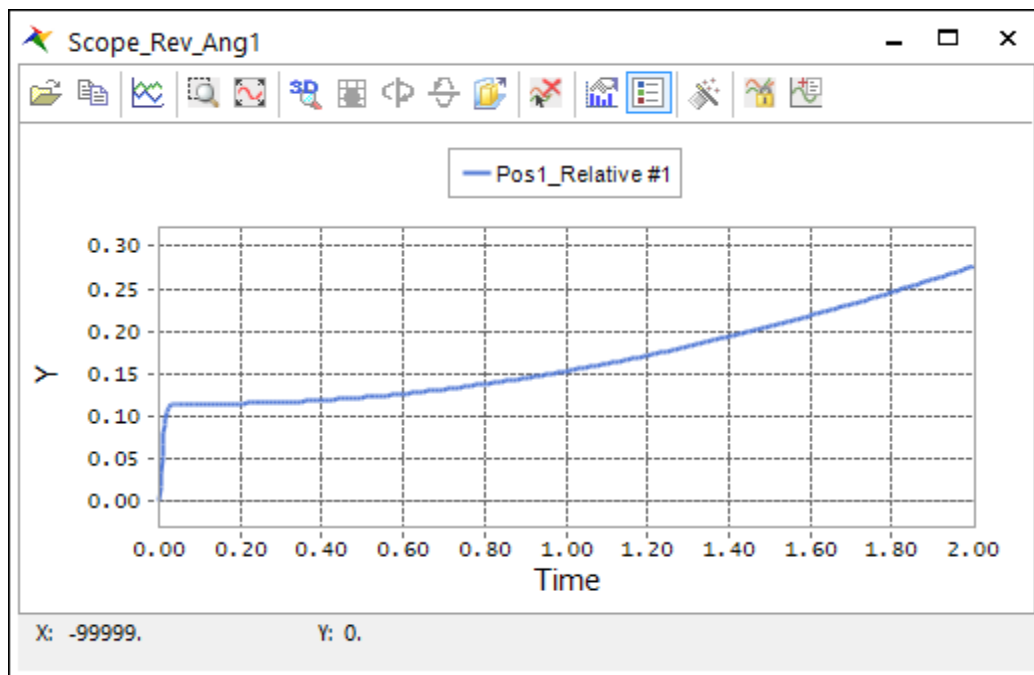
弹出 Scope Entity 对话框。

2. 点击 Et，再点击工作窗口中的 RevJoint1 图标以及位于桨毂左侧连接 Prop_Blade1 和 Prop_Hub 元素的旋转副的图标。

选中的运动副名称会出现在 Entity Name 文本框中。



组件文本框中选中的是 Pos1_Relative。这是旋转副的旋转角度，也是想要的输出，不需改动。

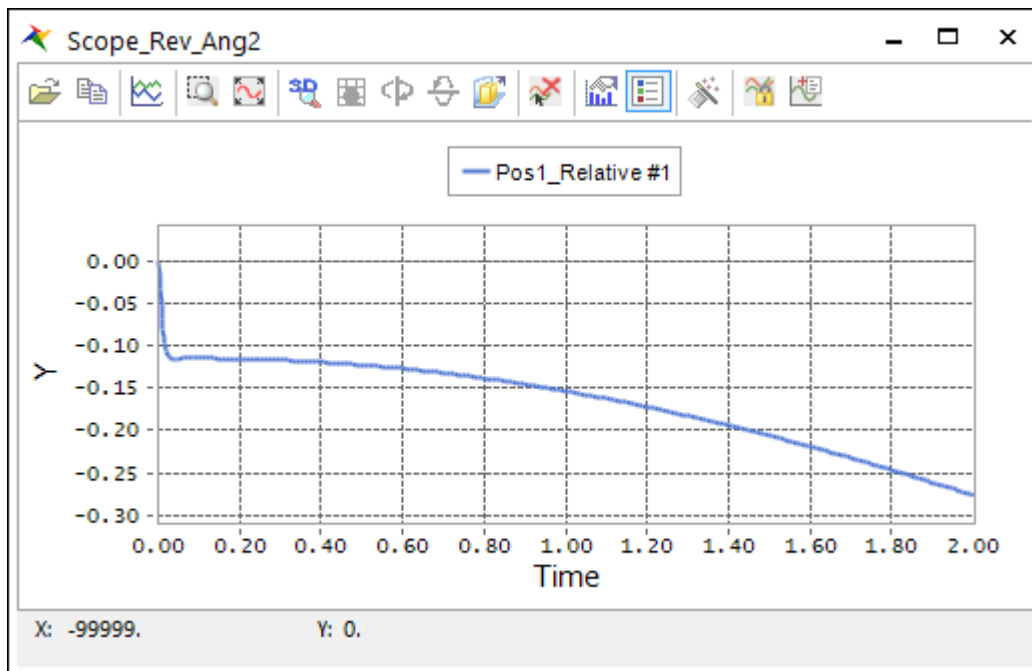


3. 将示波器的名称改为 **Scope_Rev_Ang1**。

4. 点击 **OK**。

弹出从前面仿真中角度旋转的图表示波器。注意总的旋转角度很小，仅 0.3° 。

5. 现在重复步骤 1 – 5，做相应改动，显示 **RevJoint2** 的旋转，将示波器命名为 **Scope_Rev_Ang2**。



第二个示波器显示出第二个旋转副与第一个旋转副旋转了相同的量，只是方向不同。第一个桨叶受重力影响逆时针旋转了一个很小的角度(围绕运动副基准标记的 **Z** 轴)，是一个正旋转。第二个桨叶受重力影响，顺时针旋转了一个很小的角度，是一个负旋转。

小贴士：如何在数据库窗口中选择元素

在创建视图时，按 **Et** 键，弹出目标导航窗口。除了在工作窗口中点击元素图标，还可以在数据库窗口中，将元素的名称拖到目标导航窗口，选择该元素。

设置力显示

在本节中，将设置在动画中沿螺旋桨轴的弹簧力的显示。

设置弹簧 Spring1 的力显示：

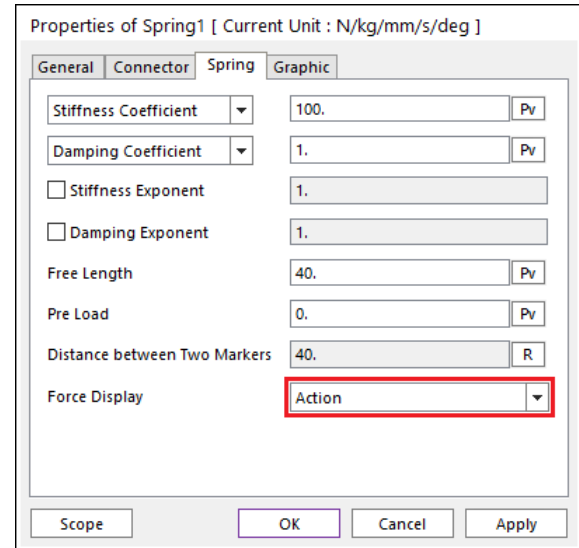
1. 显示 Spring1 的 Properties 对话框。

底部的选项是 **Force Display**。默认值为非激活。

2. 将 **Force Display** 设为 **Action**。

3. 点击 **OK**。

如果图像为阴影模式，看不到任何变化。需要把它们改为线框图渲染来观察力矢量。



4. 改为线框图渲染模式：

a. 右键点击工作窗口。

在弹出的菜单中，选择 **Rending Mode**，并点击 **Wireframe with silhouettes**。

5. 现在用 **Analysis** 标签中 **AnimationControl** 组的 **Play** 键，运行动画，观察螺旋桨轴的螺旋弹簧上的力显示。会有一个蓝色的箭头指向上。它略微上升后，迅速稳定在一个固定值(螺旋桨毂和桨叶的重量)。

6. 点击 **Stop**，重置模型。

保存模型

在继续下一章之前，保存模型。

运行设计研究

任务目标

模型使用默认弹簧参数，其刚性很大。螺旋桨的运动看起来像一个刚性而不是柔性的连接。在本章中，将学习如何使用 RecurDyn 来研究刚度和阻尼对机械系统动态反馈的影响。



预计完成的时间

15 分钟

调节旋转单簧的刚度和阻尼

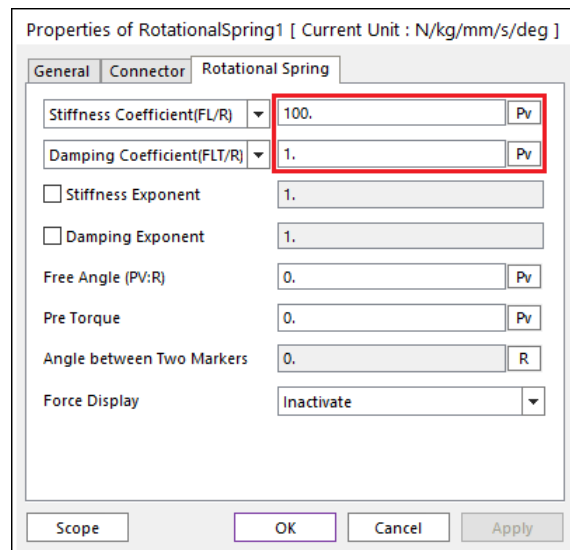
可以用两个弹簧来研究两个因素：

用 **RotationalSpring1**, 可以将刚度和阻尼都减少 100。

用 **RotationalSpring2**, 可以把阻尼再减少 10。

调节旋转副的刚度和阻尼：

1. 显示 **RotationalSpring1** 的属性对话框。
2. 将 **Stiffness** 设为 100, **Damping** 设为 1.0, 如上图所示。
3. 点击 **OK**。



4. 显示 **RotationalSpring2** 的属性对话框。
5. 将 **Stiffness** 设为 100, **Damping** 设为 0.1 (刚度相同, 阻尼更小)。
6. 点击 **OK**。

运行新的分析

现在，可以运行弹簧参数调整后的仿真。在运行仿真的时候，可以修改几个仿真参数，获得此模型的最佳结果。

运行弹簧参数调整后的仿真：

1. 在 **Analysis** 标签的 **Simulation Type** 组中，点击 **Dyn/Kin**。

弹出 **Dynamic/Kinematic Analysis** 对话框。注意仿真的结束时间和步数都是在第一次仿真时设置的值。因此在第一个标签中，不需要做任何改变。

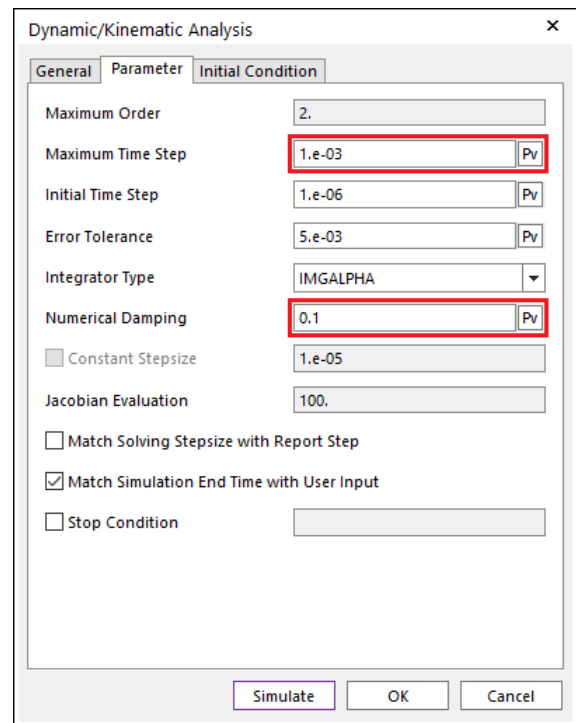
2. 点击 **Parameter** 标签并设置：

Maximum Time Step : 0.001

Numerical Damping : 0.1

最大时间步长和的数值阻尼的默认值适用于很多带有多个部件和高刚度的实际问题。但是在此模型中它们需要修改，因为：

数值阻尼主要用于系统级别，在运动副没有定义自由度的阻尼时，帮助一个模型更流畅地仿真。在此模型中，每个自由度都定义了阻尼，并且正在研究减少弹簧阻尼的影响。所以，最好将阻尼数值从 1.0 减少到 0.1。



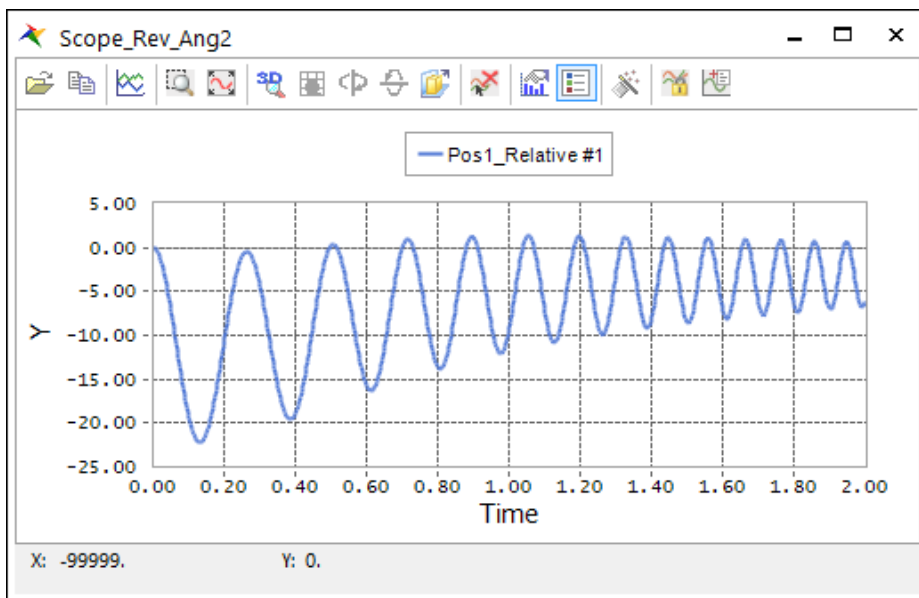
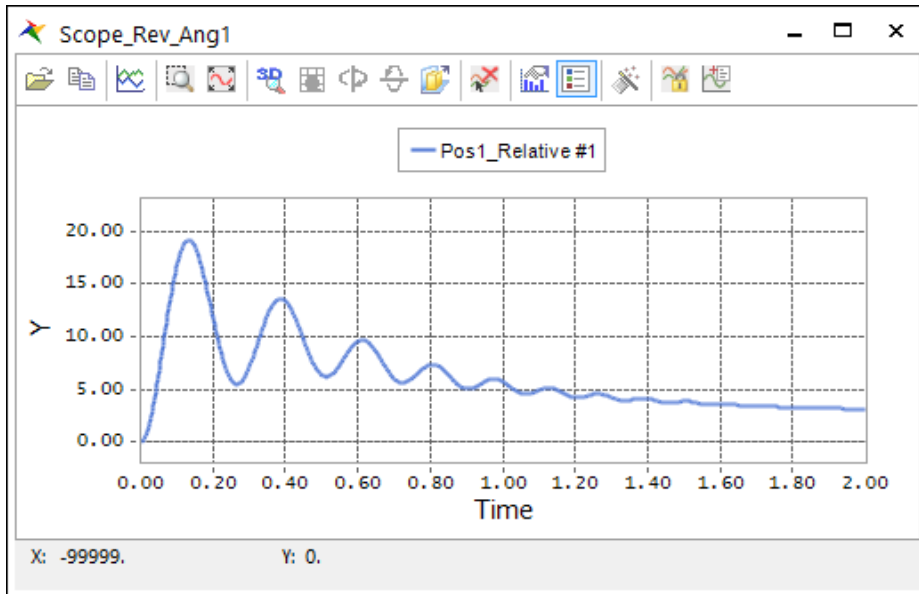
减小最大时间步长，因为 RecurDyn 的数值积分器会为这样的一个简单的模型配置较大的步长，以显示出平滑运动。但是这里小一些的最大时间步长更合适，因为希望观察到桨叶运动的逐渐衰减。

3. 点击 **Simulate**。

仿真会在几秒内运行。



会看到两个视图上的数据出现了一些明显变化。在初始旋转中，两个桨叶都旋转了大约 20° 。桨叶的振荡更大。现在正是仿真模型，观察图表所示行为的最佳时刻。



4. 使用 **Analysis** 标签中 **Animation Control** 组下的 **Animation** 播放按钮，显示动画，参照初始教程。
5. 点击 **Stop** 按钮，重置模型。

在设计研究结果中需要考虑的问题:

这里有几个问题。答案稍后提供。

1. 为什么桨叶在第二次仿真中出现了更大的位移?
2. 为什么桨叶在第二次仿真中振荡更大?
3. 为什么 **Prop_Blade2** 比 **Prop_Blade1** 振荡更大?
4. 为什么桨叶的平均旋转幅度在仿真的后半部分降低了?
5. 如何检查这个方案的精确度?

答案:

- 1) 旋转弹簧的刚度降低了。
- 2) 旋转弹簧的阻尼降低了。
- 3) 旋转弹簧#2 的阻尼降低了。
- 4) 螺旋桨旋转速度加快，向心加速度增加并减弱了重力的影响。
- 5) 将最大时间步长设为 0.0001(降低 10 倍)后再次运行仿真。结果保持不变，因此精确度可以保证。

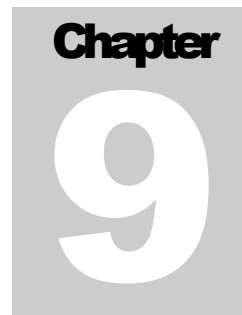
进一步研究的想法:

通过改变旋转弹簧的刚度值和阻尼值改变了模型的结果。

1. 如何改变线圈（平移）弹簧的刚度值和阻尼值?
2. 考虑一下试验过程。如果同时改变刚度值和阻尼值的话，就会很难确定到底是哪个变量的变动导致了结果的变化。
3. 如果把重力改成-Y 方向的话会得到什么样的结果？做出相应改变，看看是否正确。

可以在 **Settings** 菜单中的 **Gravity** 指令中改变重力的方向。

结果绘图



任务目标

在本章中，会将 RecurDyn 在前一章运行动态/动力学仿真后计算出的分析数据作图表示。会使用 RecurDyn 的作图工具，根据旋转副的旋转输出结果作图。可以绘制并做出仿真的结果。



预计完成的时间

10 分钟

创建绘图

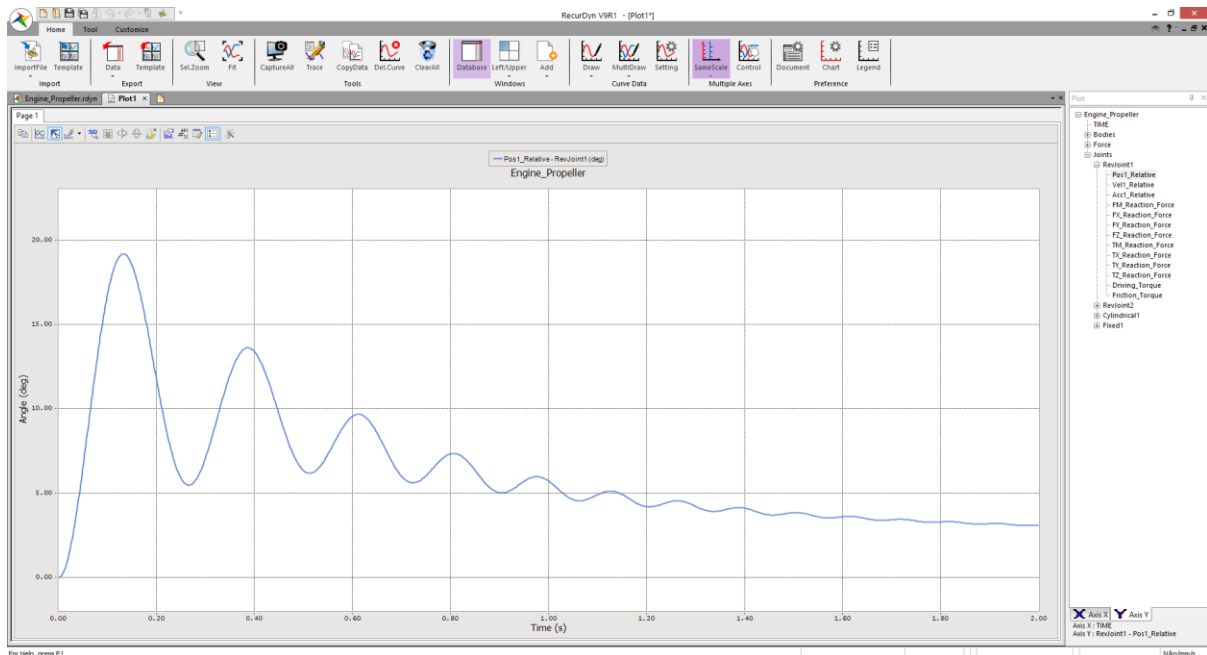
本节启动 **RecurDyn/Plot**。

启动 **RecurDyn/Plot**:



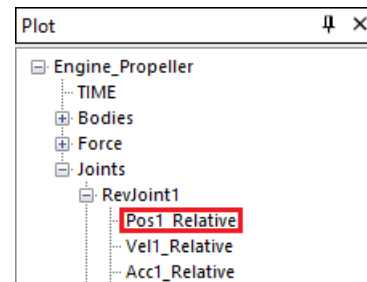
1. 在 **Analysis** 标签的 **Plot** 组中，点击 **Plot Result**。

弹出作图窗口以及所有需要的工具和数据。

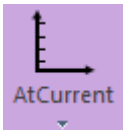
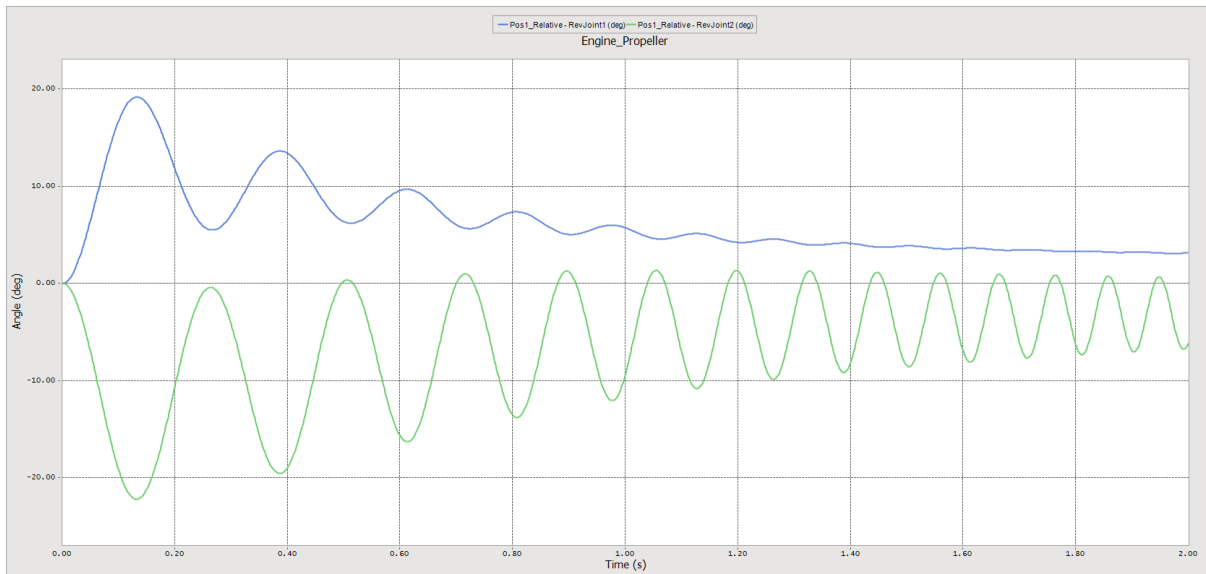


2. 在数据库窗口，点击 **Joints** 和 **RevJoint1** 前的+，然后双击 **Pos1_Relative**，显示 **Prob_Blade1** (和第一个视图一样)的旋转。

3. 点击 **RevJoint2**，然后双击 **Pos1_Relative**，显示 **Prob_Blade2** (和第二个视图一样)的旋转。

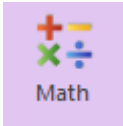


绘制的图如下所示，一张图里包含了两个视图的曲线。这样便于比较两个桨叶的旋转，但是这里很难比较，因为一条曲线是正值，另一条曲线是负值。需要使用作图工具里的分析功能来简化这个对比。



- 用 **Simple Math** 工具，在同轴做曲线之前，检查并确保 **At Current Axis** 选项是打开的状态。

- 在 **Tool** 标签的 **Analysis** 组中，点击 **Math**。数据分析对话框就会出现。



- 点击 **Math Type** 右侧的区域来显示下拉菜单按钮。

- 选择：

Scale: $\alpha * F1$

- 将 **Source Curve1 (F1)** 设为第二条曲线, **Pos1_Relative - RevJoint2 (deg)**。

- 将 **Y Scale Factor** 设为-1。

- 点击 **Execute**。

Data Analysis	
Simple Math	
Math Type	Scale : $\alpha * F1$
Source Curve1 (F1)	2:Pos1_Relative - RevJoint2 (deg)
Source Curve2 (F2)	2:Pos1_Relative - RevJoint2 (deg)
Plot to New Page	No
Add to Database	No
Use Default Curve Name	Yes
Curve Name	
Scale Option	
Y Scale Factor Type	User Defined Value
Y Scale Factor	-1.
X Scale Factor Type	User Defined Value
X Scale Factor	1.
Translate Option	
Translate Type	Offset
X	0.
Y	0.
Align to Curve	1:Pos1_Relative - RevJoint1 (deg)
Y Scale Factor	
Value of Scale Factor	
<input type="button" value="Execute"/> <input type="button" value="Close"/>	

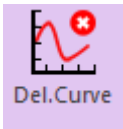
11. 点击 **Close**。

一条代表 **Blade2** 旋转绝对值的新的曲线会出现在图中。

12. 在图中，点击原本的 **Blade2** 旋转曲线 (**Pos1_Relative - RevJoint2 (deg)**，负值)，就会看到曲线变为高亮显示。
13. 在键盘上，按 **Delete** 键，删除这条曲线。

或者

在 **Home** 标签的 **Edit** 组中，点击 **Delete Curve**。



14. 点击 **Yes**，确认删除曲线。

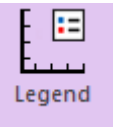


15. 点击 **Fit**，调整曲线。

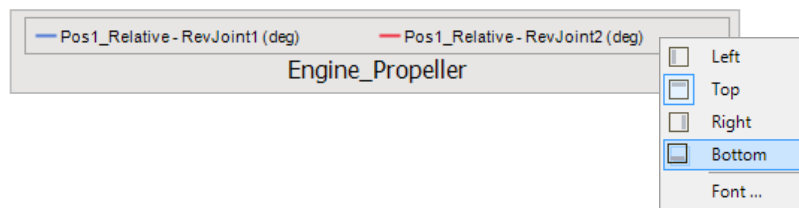
16. 从 Home 选项卡的首选项组中，单击 Legend。将出现“图例标题”对话框。

17. 将 **Legend #2** 标题名称更改为 **pos1_Related-RevJoint 2(Deg)**。

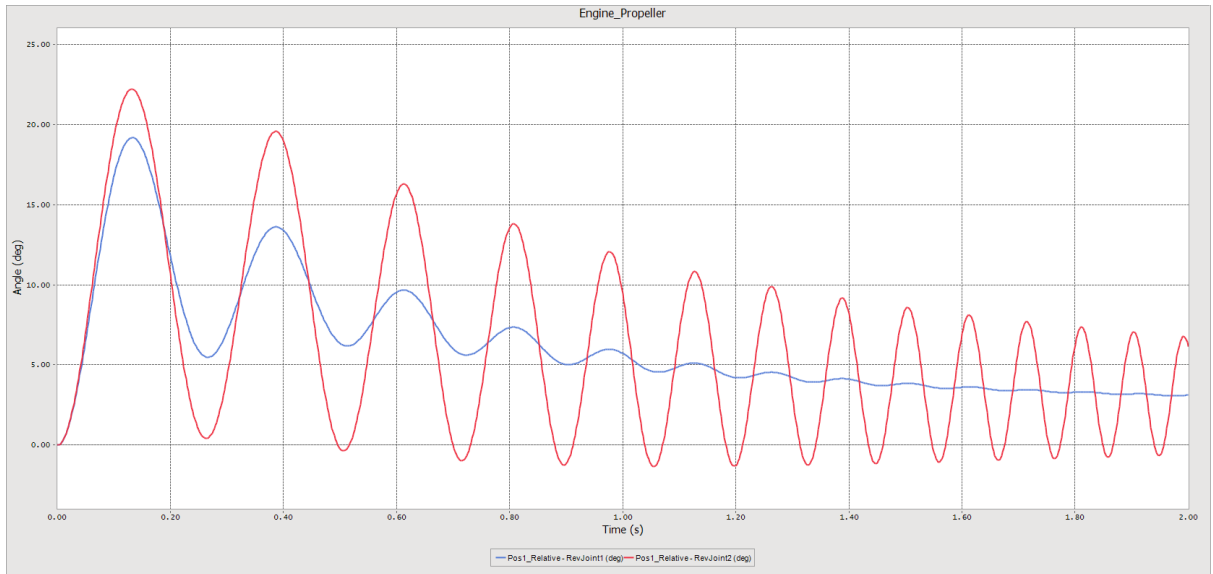
点击 **OK**，**Legend** 标题被更改了。



18. 在 Legend 工具箱右击，从下拉菜单选择 **Bottom**



作出的图会如下图所示。



恭喜! 已经完成了本教程并且仿真了一个多体动力学系统!