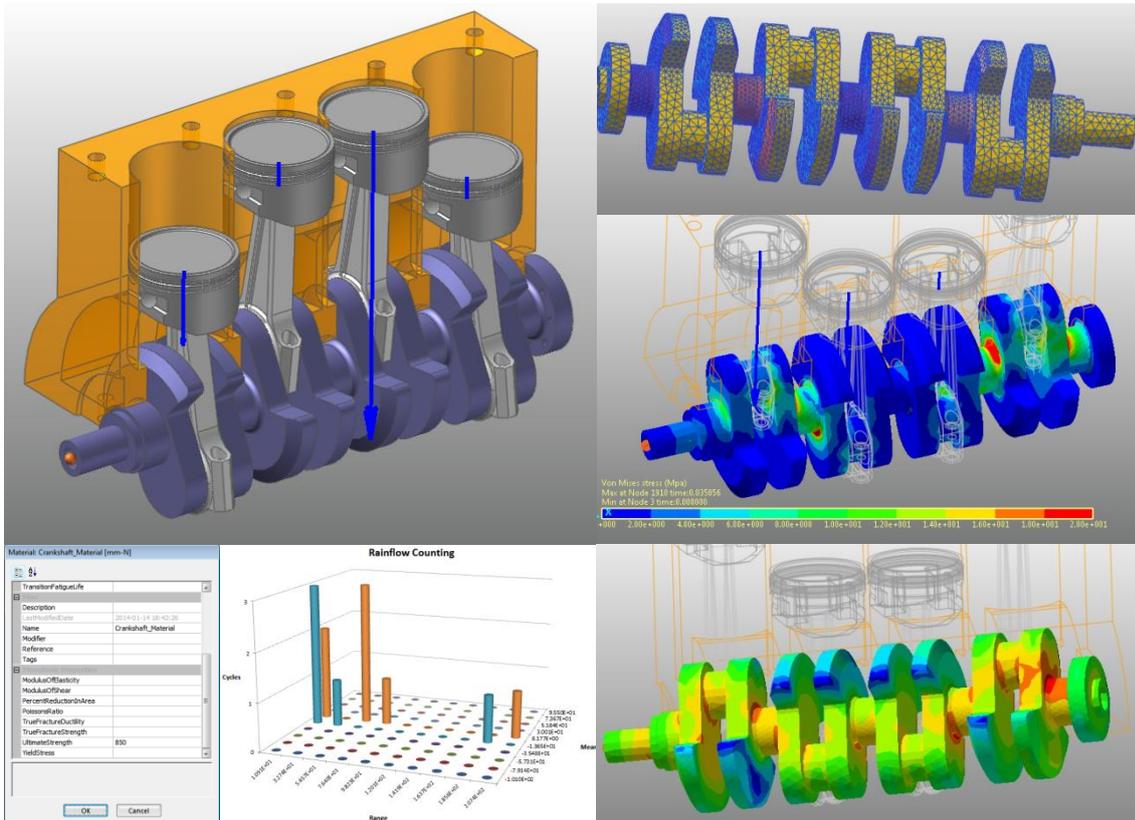


Durability RFlex 曲轴教程



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[™] is a registered trademark of FunctionBay, Inc.

RecurDyn[™]/SOLVER, *RecurDyn*[™]/MODELER, *RecurDyn*[™]/PROCESSNET, *RecurDyn*[™]/AUTODESIGN, *RecurDyn*[™]/COLINK, *RecurDyn*[™]/DURABILITY, *RecurDyn*[™]/FFLEX, *RecurDyn*[™]/RFLEX, *RecurDyn*[™]/RFLEXGEN, *RecurDyn*[™]/LINEAR, *RecurDyn*[™]/EHD(Styer), *RecurDyn*[™]/ECFD_EHD, *RecurDyn*[™]/CONTROL, *RecurDyn*[™]/MESHINTERFACE, *RecurDyn*[™]/PARTICLES, *RecurDyn*[™]/PARTICLEWORKS, *RecurDyn*[™]/ETEMPLATE, *RecurDyn*[™]/BEARING, *RecurDyn*[™]/SPRING, *RecurDyn*[™]/TIRE, *RecurDyn*[™]/TRACK_HM, *RecurDyn*[™]/TRACK_LM, *RecurDyn*[™]/CHAIN, *RecurDyn*[™]/MIT2D, *RecurDyn*[™]/MIT3D, *RecurDyn*[™]/BELT, *RecurDyn*[™]/R2R2D, *RecurDyn*[™]/HAT, *RecurDyn*[™]/曲柄, *RecurDyn*[™]/PISTON, *RecurDyn*[™]/VALVE, *RecurDyn*[™]/TIMINGCHAIN, *RecurDyn*[™]/ENGINE, *RecurDyn*[™]/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*[™] V9R1.

目录

简介.....	6
任务目标.....	6
要求.....	7
任务.....	7
本教程预计完成的时间.....	7
调用初始模型.....	8
任务目标.....	8
预计完成的时间.....	8
调用Rdyn模型.....	9
在4缸发动机模型上直接运行初始仿真.....	10
创建一个RFlex部件.....	11
任务目标.....	11
任务的预计完成时间.....	11
创建一个RFlex部件.....	12
在RFlex部件上进行动态分析并查看结果.....	13
进行耐久性分析.....	19
任务目标.....	19
任务的预计完成时间.....	19
进行耐久性分析.....	20
分析并评论结果.....	33
任务目标.....	33

任务的预计完成时间.....	33
分析安全因子结果.....	34

Chapter

1

简介

疲劳和耐久性分析主要用来分析在 **RecurDyn** 建模的柔性体或柔性体的特殊区域，在各种动态负荷下可以保持多久的稳定，还可以判定部件的稳定性如何。这些分析与其它分析方法（如预测最大应力和最大变形率），主要区别就是对时间的关注。

考虑到模型的灵活性，**RecurDyn** 支持多体动力学系统中 **Fflex** 和 **Rflex** 部件。因此，本教程演示如何使用 **RecurDyn/Durability** 模块，来分析 **FFlex** 部件和 **RFlex** 部件的耐久性。

本教程中用到的模型是一个简化的 4 缸内燃机。模型中的曲轴用一个 **RFlex** 部件替换，四个气缸内发生燃烧爆炸推动活塞提供动态负载。本教程中的耐久性分析将确定曲轴设计的稳定性和耐久性。

任务目标

本教程包含了以下内容：

- 用 **RecurDyn/RFLEX** 替换一个柔性体
- 用 **RecurDyn/RFLEX** 判定应力
- 明确耐久性分析的要求
- 获得耐久性仿真结果
- 分析耐久性仿真结果

要求

本教程适用于已经阅读并理解 **RecurDyn** 提供的 **FFlex** 和 **RFlex** 基础教程的中级用户。如果没有完成这些教程，建议在继续本教程前先完成这些教程。此外，用户必须具备一些基本动力学和有限元知识。

任务

本教程包括了以下步骤，预计完成每个步骤的时间如下表所示。

任务	时间（分钟）
调用一个 Rdyn 模型	10
替换一个 RFlex 部件	15
创建一个片集来检验疲劳结果	5
进行一次疲劳评估	25
检验疲劳结果	10
总计	65



本教程预计完成的时间

本教程大约需要 65 分钟完成。



调用初始模型

任务目标

本章学习如何打开一个初始模型，仿真并观察一个 4 缸发动机模型如何运转。



预计完成时间

10 分钟

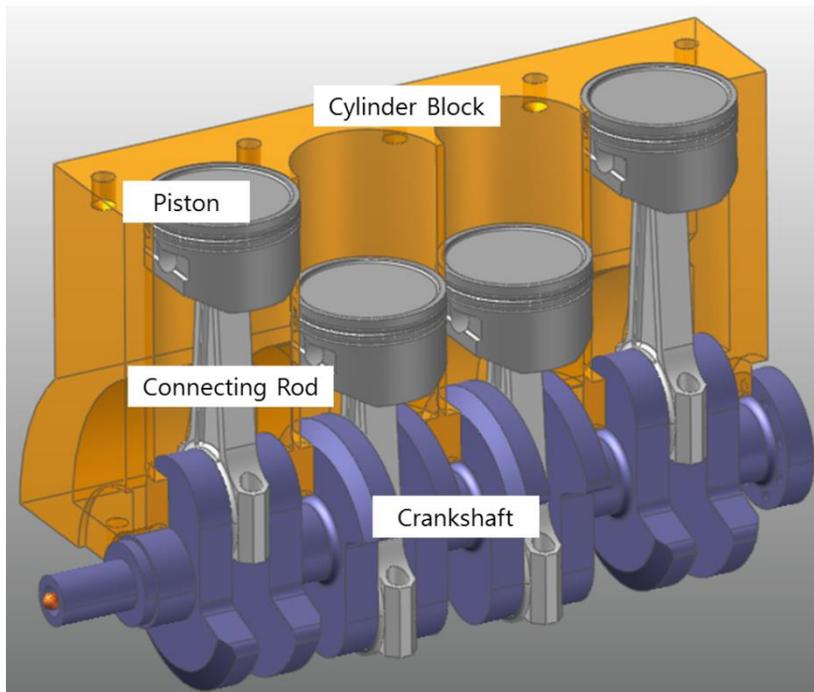
调用 Rdyn 模型

启动 RecurDyn，并调用初始模型：



1. 双击桌面上的 RecurDyn 图标。
2. 弹出 Start RecurDyn 对话框时，关闭它。
3. 在 File 菜单中，点击 Open。
4. 在 Durability 教程路径中，选择 RD_Durability_4Cyl_Engine_Start.rdyn 文件。(文件路径：
<Install Dir> \Help \Tutorial \Durability \RFlexCrankshaft)。
5. 点击 Open。

打开模型，如下图所示。



上图显示了直列 4 缸发动机的模型，包括一个汽缸体，活塞，连杆和曲轴。在实际内燃机中，气体的爆炸将四个活塞垂直推入汽缸体，推动每个活塞上的连杆转动曲轴。为了在 RecurDyn 中模拟这一过程，必须在力分布图上模拟气体爆炸的时刻并把爆炸以振动力的形式直接传递到活塞上。

保存初始模型：

1. 在 File 菜单中，点击 Save As。
(将此模型保存到不同的路径中，因为不能在教程路径中直接仿真。)

在4缸发动机模型上直接运行初始仿真

在本任务中，将在模型上运行初始仿真，来理解它是如何运作的。

运行初始仿真：



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。

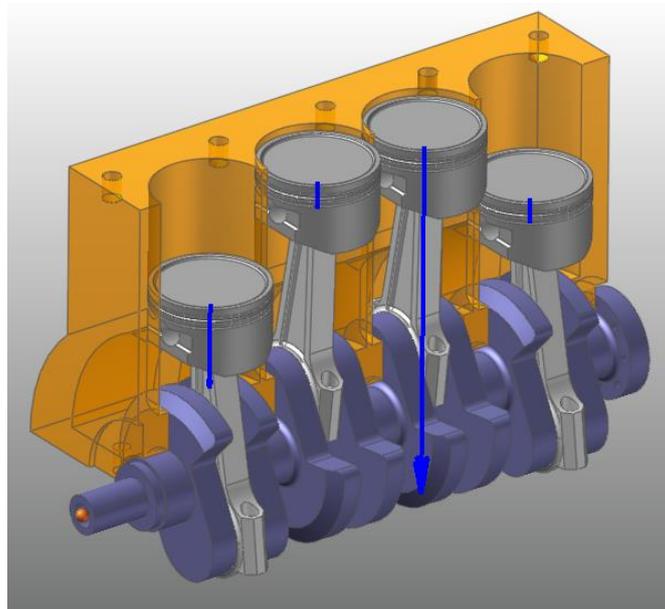
2. 检验仿真条件后，点击 **Simulation** 按钮。

查看结果：



点击 **Analysis** 标签的 **AnimationControl** 组中的 **Play** 按钮，四个活塞的燃料会按以下顺序爆炸：

Piston_1 → **Piston_3** → **Piston_4** → **Piston_2**。可以验证动画中箭头的大小象征了力的大小。通常来说，四个过程发生在活塞的每个冲程中(进气→压缩→爆炸→排气)。但是在本教程使用的动力学模型中，只有气体爆炸产生的力重要。因此，力分布图是根据爆炸力的时间点创建的，建模时将力以合适的顺序分配给每个活塞。



Chapter

3

创建 RFlex 部件

本章学习如何在柔性体上进行疲劳分析。

任务目标

此任务演示如何使用 **RecurDyn/RFlex** 提供的 **RFlex** 部件功能，将现有的刚体替换为柔性体，并在该柔性体上进行疲劳分析。



预计完成任务时间

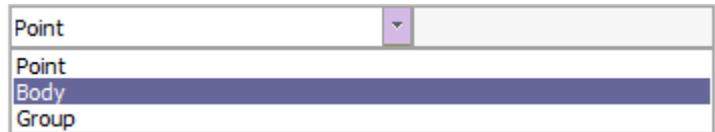
15 分钟

创建 RFlEx 部件

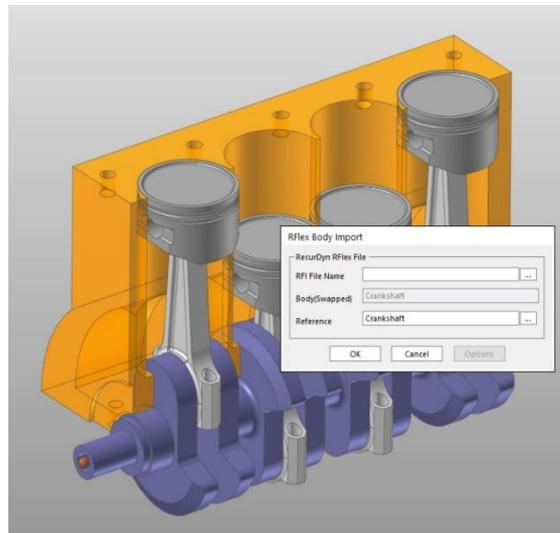
创建 RFlEx 部件:



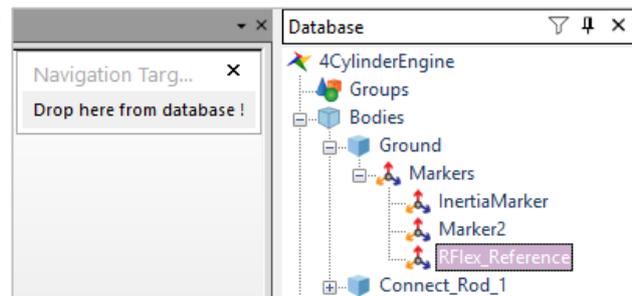
1. 在 **Flexible** 标签下的 **RFlEx** 组中，点击 **ImportRFI**。
2. 将建模选项改为 **Body**。
3. 在工作窗口中，选择 **Crankshaft**，如下图所示。



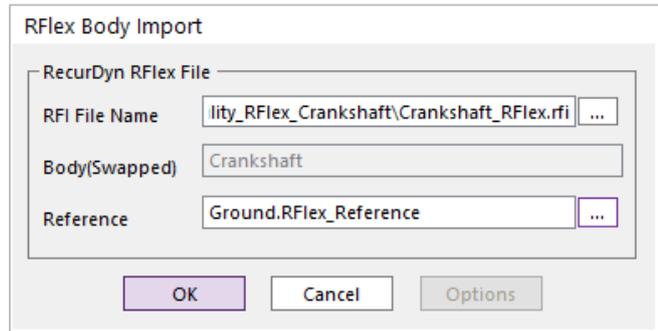
弹出 RFlEx 部件，导入对话框。



4. 在 RFlEx 部件导入对话框中，进行如下操作：
 - 点击 **RFIFileName** 文本框右侧的“...”按钮。
 - 选择 **Crankshaft_RFlEx.rfi** 文件，和 **RD_Durability_4Cyl_Engine_Start.rdyn** 文件在同一个文件夹中。
 - 点击 **Reference** 文本框右侧的“...”按钮。
 - 在 **Ground** 组下面的数据库面板中，拖拽 **RFlEx_Reference** 标记到目标导航窗口中，如右图所示。



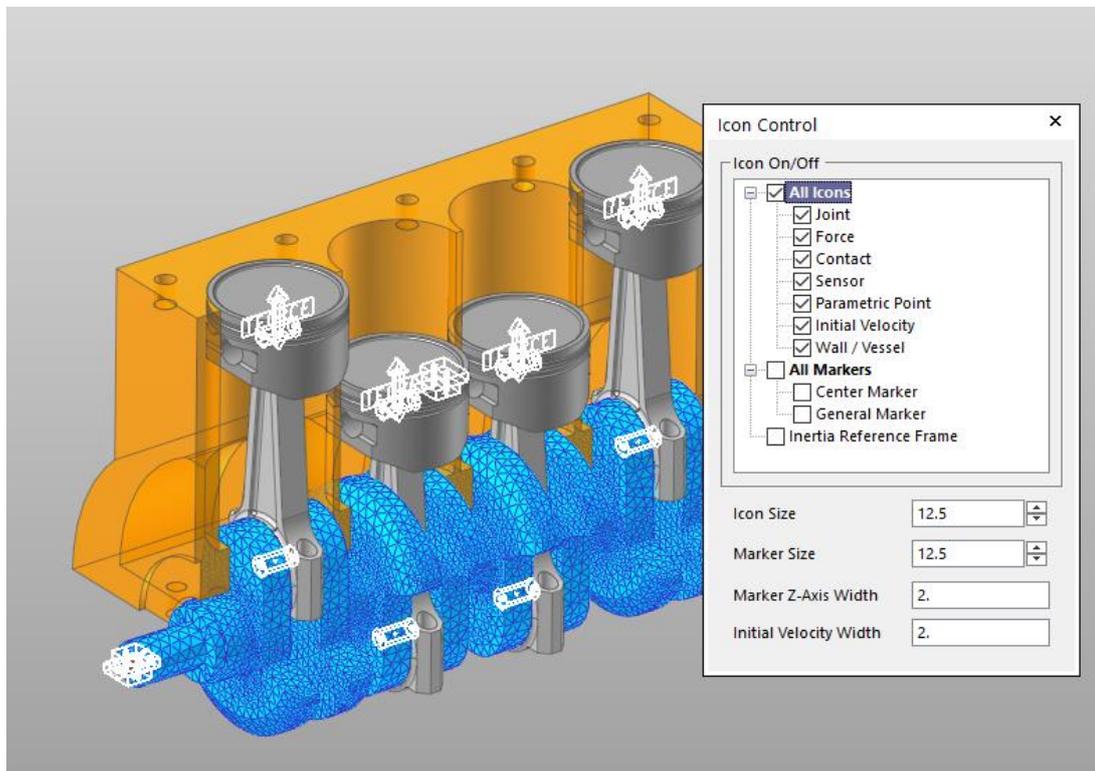
5. 确保选择的条件与右图相符，点击 **OK**。



RFlex body 就会替代 CrankshaftBody。



6. 点击工具栏上的 **Icon Control**，选择 **All Icons**，并查看结果。确保应用于当前曲轴的所有运动副依然应用于此 RFlex 部件。检查运动副后，清空所选图标。



在 RFlex 部件上进行动态分析并查看结果

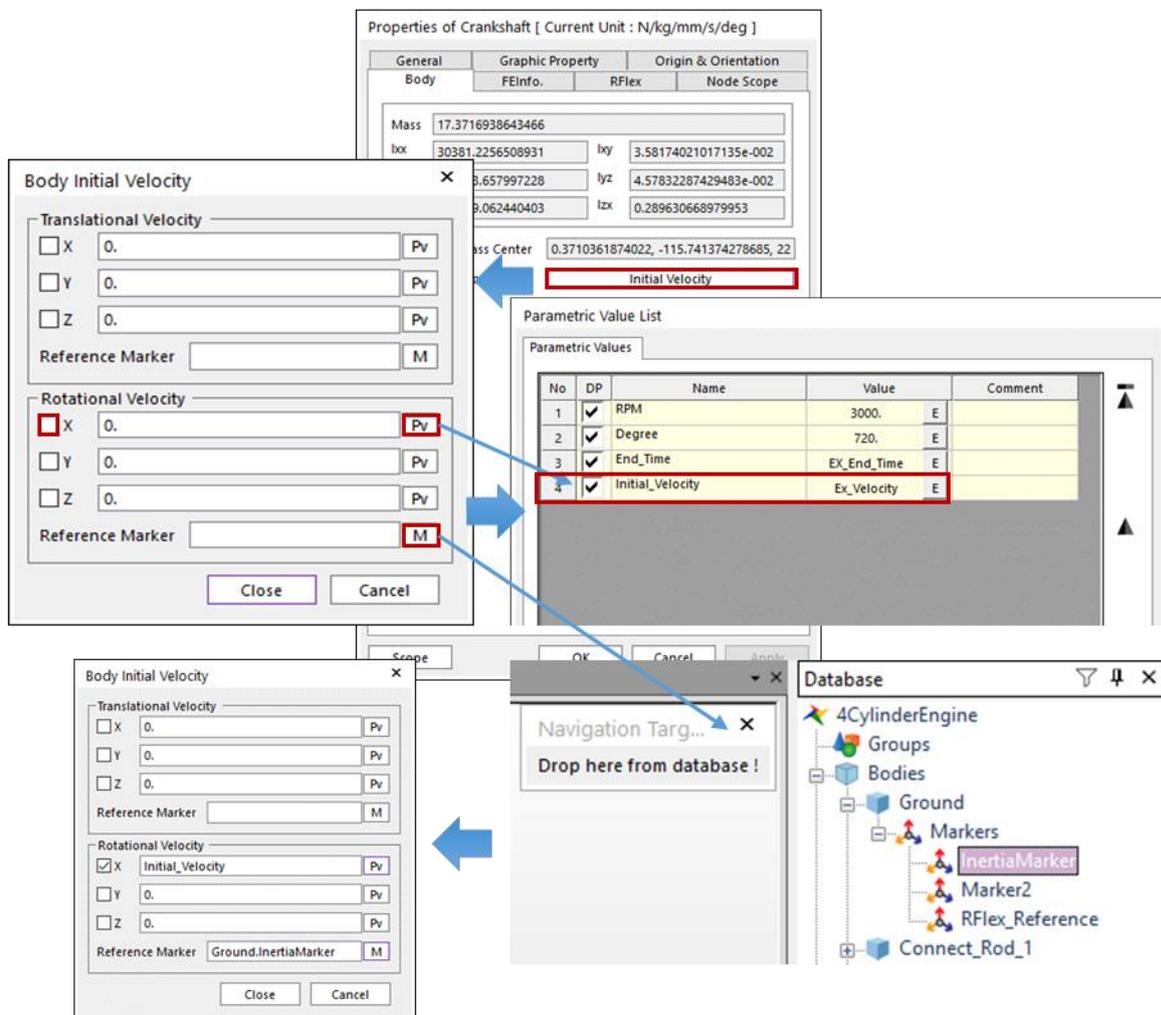
在 RFlex 部件上，进行动态分析：

1. 选择并右键点击 **Crankshaft**，点击 **Properties**。

弹出 RFlexBody1 的属性对话框。

2. 在 RFlexBody1 对话框的属性中，在 **Body** 标签内，点击 **Initial Velocity**。
3. 在部件初速度对话框中，完成如下操作：
 - 在 **RotationalVelocity** 组中，勾选 **X** 勾选框，并点击 **PV**。
 - 在 **Parametric Value List** 对话框中，选择 **Initial_Velocity**。
 - 在 **Reference Marker** 文本框，右侧点击 **M**。
 - 在数据库窗口中，将 **Ground.InertiaMarker** 拖拽至目标导航窗口中。点击 **Close**，关闭对话框。

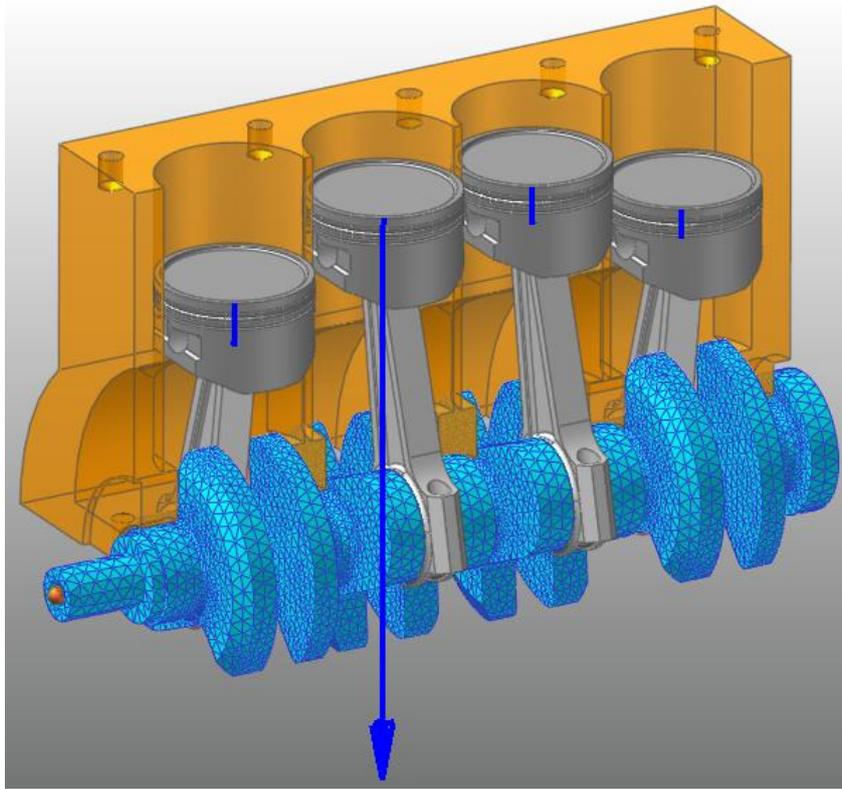
整个过程如下所示。





4. 在 **Analysis** 标签的 **Simulation Type** 组中，点击 **Dyn/Kin**。当对话框出现后，点击 **Simulation**，保留原设置，并运行分析。

完成仿真不需要很长时间。在仿真过程中，动画与之前的曲轴部件动画相似。



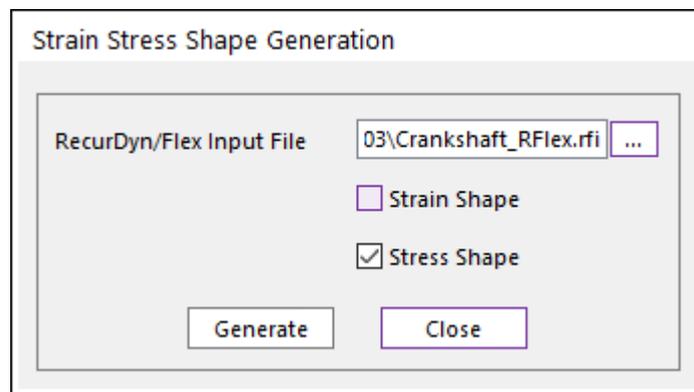
显示 RFlex 部件的应力分布:



1. 在 Flexible 标签的 RFlex 组中, 点击 **Strain Stress Shape Generation**。

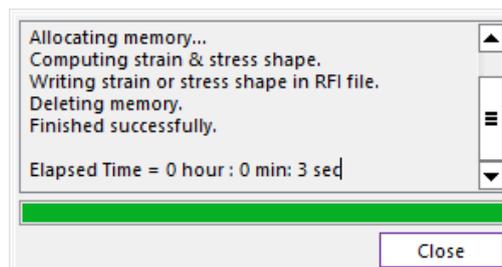
弹出 **Stress Shape Generation** 对话框。

2. 在 **Stress Shape Generation** 对话框中, 完成以下操作:
 - 在 **RecurDyn/Flex Input File** 中, 指定 **RFI** 文件。
 - 选择 **Stress Shape**。



- 点击 **Generate**。

状态对话框会弹出, 显示应力形状的创作过程, 如右图所示。



3. 应力形状创建完毕后, 在两个对话框上, 都点击 **Close**。

小贴士: 因为本教程中提供的 **RFI** 文件只包括了模态振型, 必须把应力形状信息加到现有的 **RFI** 文件中才能查看应力结果。当然这样会增加 **RFI** 文件的大小。

要查看 RecurDyn/Rflex 仿真应力结果的等高线视图，必须在输出文件夹中建立一个输出文件*.srd。这些文件保存了 RFlex 部件中所有节点的应力结果。不建立输出文件也可以查看结果，但是等高线动画可能会变慢。



4. 在 **Contour** 下，点击。

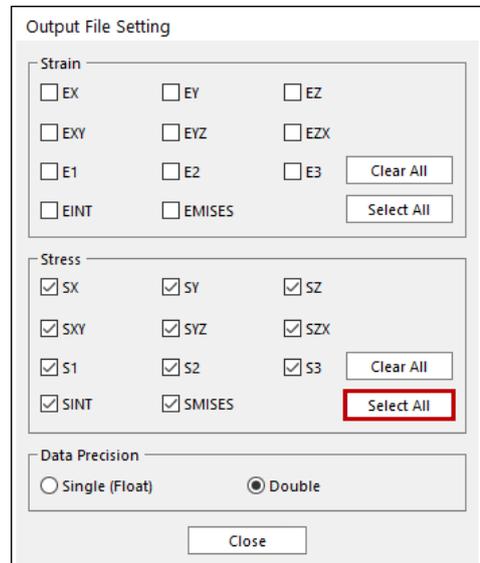
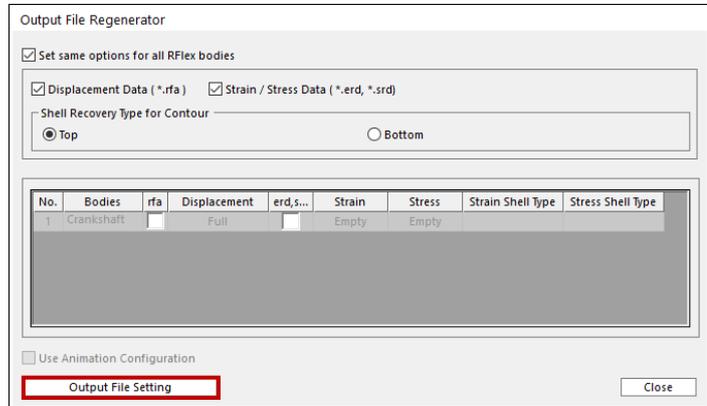
弹出 **Output File Generator** 对话框，如右图所示。

5. 点击 **Output File Setting**。

对话框会弹出，如右图所示。

6. 在 **Stress** 组中，点击 **Select All**。

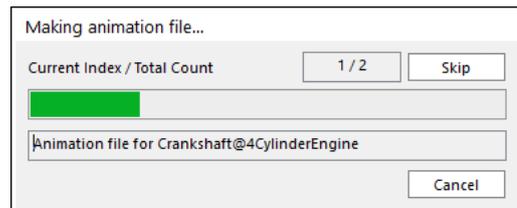
7. 点击 **Close**。



小贴士：在创建输出文件时，只包含了 Von-Mises, Sx, Sy 和 Sz 测试，以减小文件大小。如果想在等高线图中查看其它结果，必须勾选所有按钮。

8. 在 **Output File Generator** 对话框中，点击 **Generate**。

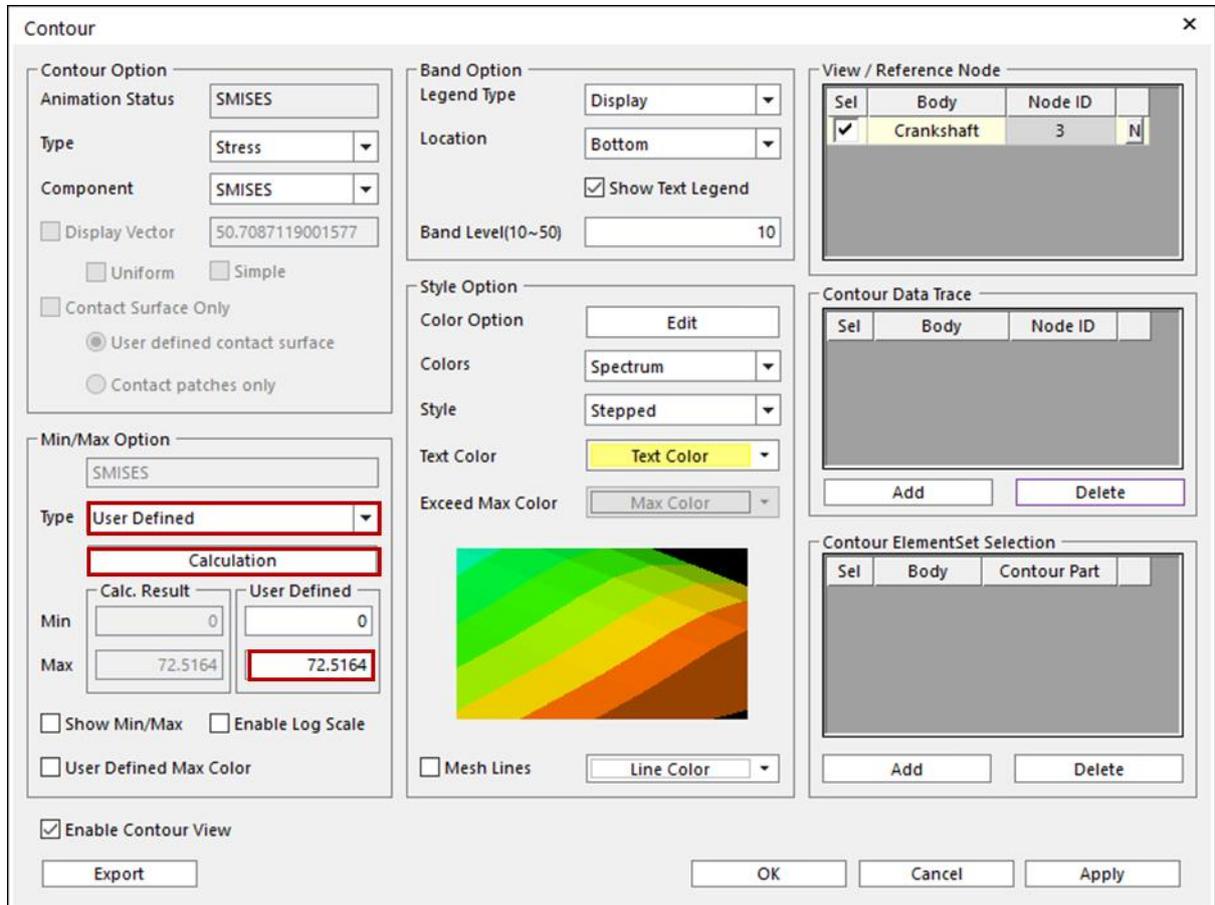
9. 文件生成后，信息表中的应力栏会从 **Empty** 变为 **Full**。（小贴士：如果输出文件是用默认设置创建的，那么应力栏会变为 **Partial** 而不是 **Full**。这是因为在 11 个应力测试中，只有 Von-Mises, Sx, Sy 和 Sz 被进行。）





10. 在 RFlex 带中，点击 **Contour**。

弹出等高线对话框，如图所示。

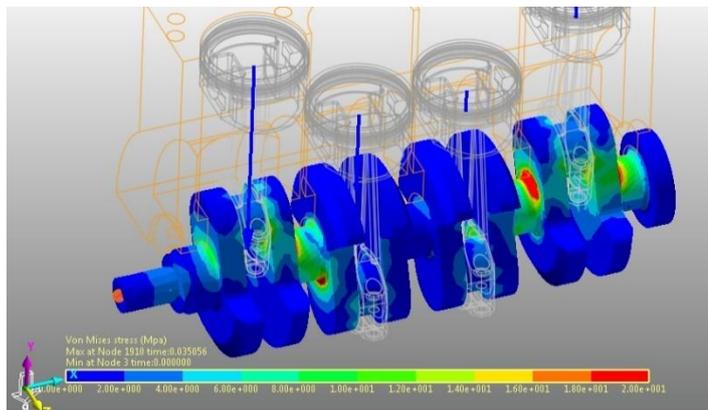


11. 在等高线对话框中，进行如下操作：

- 在 **Min/Max Option** 组中，点击 **Calculation**。
- 在 **Min/Max Option** 组中，将 **Type** 设为 **User Defined**。
- 在 **Max** 文本框中，输入 20。
- 点击 **OK**，关闭对话框。

▶ 12. 点击。

结果会显示在模型上，如右图所示。



Chapter

4

进行耐久性分析

任务目标

本章学习如何分析 RFlax 部件的耐久性。



预计完成任务的时间

30 分钟

进行耐久性分析

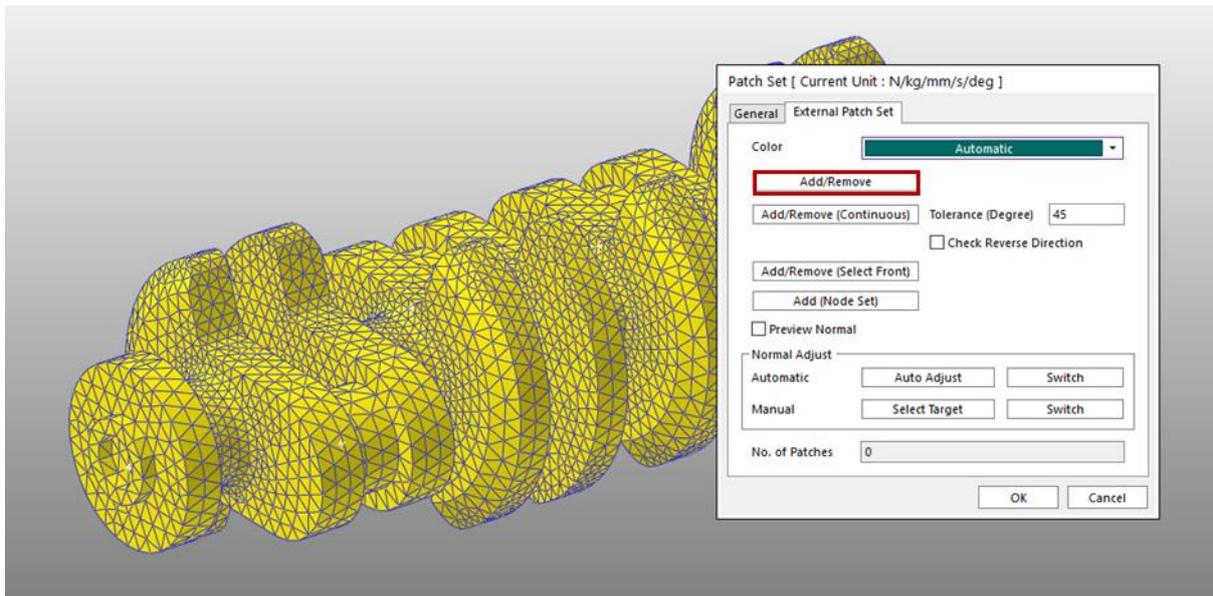
创建一个片集:

1. 双击 **Crankshaft**, 进入 **RFlex** 部件编辑模式。

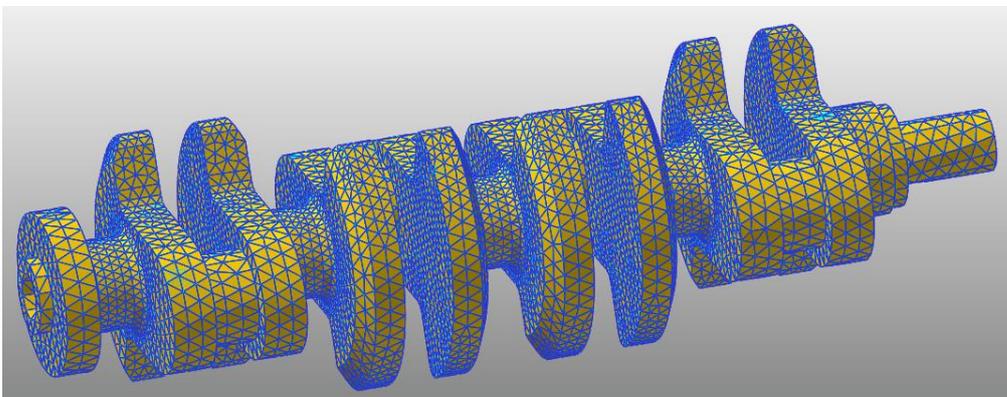


2. 在 **Rflex Edit** 标签的 **Set** 组中, 点击 **Patch Set**.

点击 **Add/Remove** 按钮, 如下图所示。然后按住左键, 将光标拖拽过模型来选定整个部件。

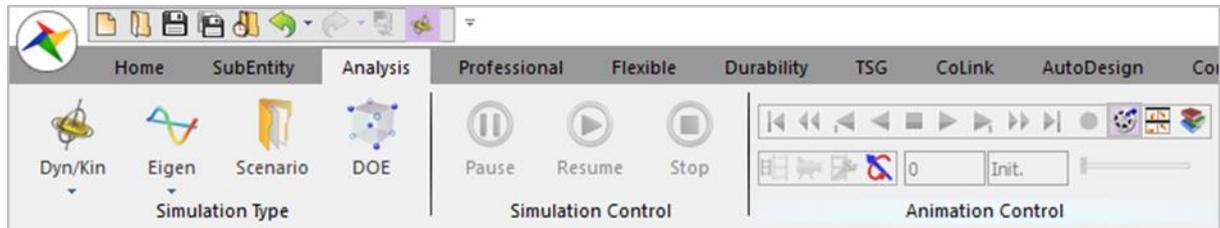


3. 右键点击选中的部件, 在菜单中, 点击 **Finish Operation**。
4. 在片集对话框中, 点击 **OK**。
5. 片集创建完成后, 在 **Rflex Edit** 标签的 **Exit** 组中点击 **Exit**, 进入 **parent** 模式。



恢复动画文件:

在 **Analysis** 标签的 **Animation Control** 组中, 点击 **Reload the last animation file**, 如下图所示。



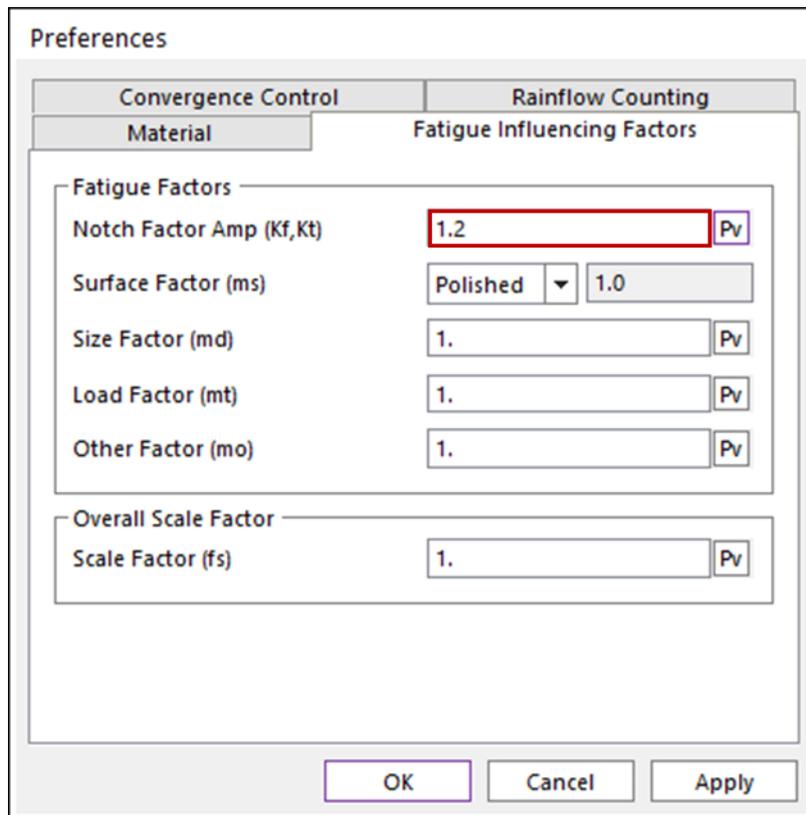
注意所有动画相关的按钮都已激活。

小贴士: 在为 **RFlexBody1** 创建片集时, 之前的分析结果可能看起来已经不可用。然而, 这个步骤并不会影响动态分析结果。因此, 不需要再次进行动态分析, 可以通过恢复动画文件或 **RAD** 文件来查看之前的分析结果。

设置分析参数:



1. 在 **Durability** 标签下的 **Durability** 组中, 点击 **Preference**, 打开 **Preference** 对话框。
2. 在 **Preference** 对话框中的 **Material** 标签中, 明确疲劳分析的 **Material Library** 文件路径。
(**C:\Users\<Your Windows Login ID>\Documents\RecurDyn\<RecurDyn Version>** 或者基于 **OS** 环境的其他相当路径)
3. 在 **Fatigue Influencing Factors** 标签的 **Fatigue Factors** 组中, 将 **Notch Factor Amp(Kf, Kt)** 设为 1.2, 如下图所示。



缺口系数会增加分析得出的应力值, 因为结构的设计和制造造成的裂缝、孔洞和缺口 (**V** 槽) 会导致应力集中。所以, 缺口系数越大, 耐久性分析得出的结论就越糟糕。

4. 在 **Preference** 对话框中, 不要改变 **Convergence Control** 或者 **Rainflow Counting** 值, 点击 **OK**。

进行疲劳评估:

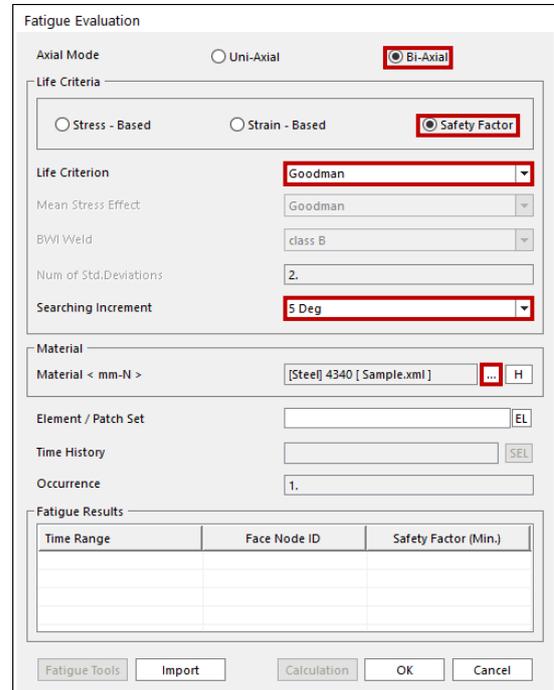


1. 在 **Durability** 标签的 **Durability** 组中, 点击 **Fatigue Evaluation**。

弹出疲劳分析对话框。

2. 在 **Fatigue Evaluation dialog** 窗口中, 进行以下操作:

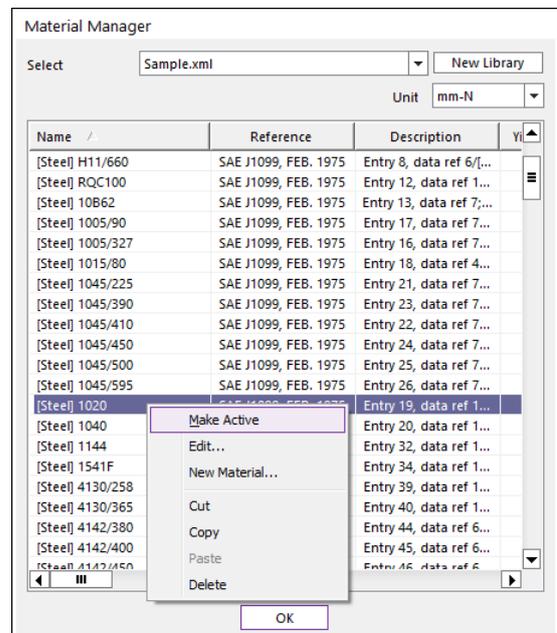
- 对于 **Axial Mode**, 选择 **Bi-Axial**。
- 将 **Life Criteria** 改为 **Safety Factor**。
- 对于 **Life Criterion**, 选择 **Goodman**。
- 将 **Searching Increment** 设为 **5 Deg**。



3. 在 **Materials** 组中, 点击“...”按钮。

弹出材料管理对话框, 进行以下操作:

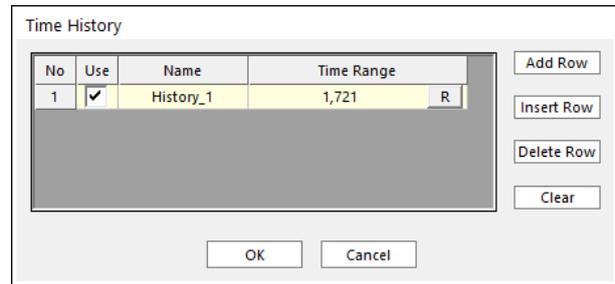
4. 选择并右键点击 **[Steel] 1020**, 点击上下文菜单中的 **Make Active**, 如右图所示。
5. 点击 **OK**。



6. 点击 **Element/PatchSet** 文本框右侧的 **EL** 按钮。

7. 为 **RFlexBody1** 选择 **PatchSet**。

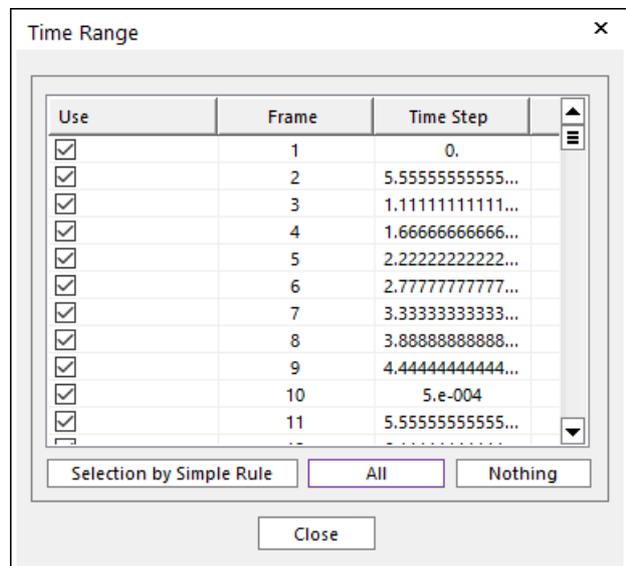
8. 一个时间历程已经在 **Time History** 对话框中定义完成。点击 **R** 改变时间范围。



9. 在 **Time Range** 对话框中，点击 **All**。

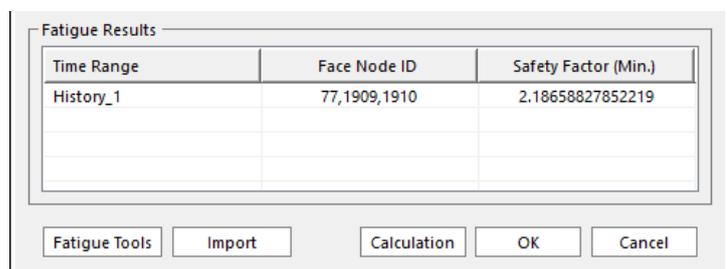
10. 在 **Time Range** 对话框中，点击 **Close**。

11. 点击 **OK**。



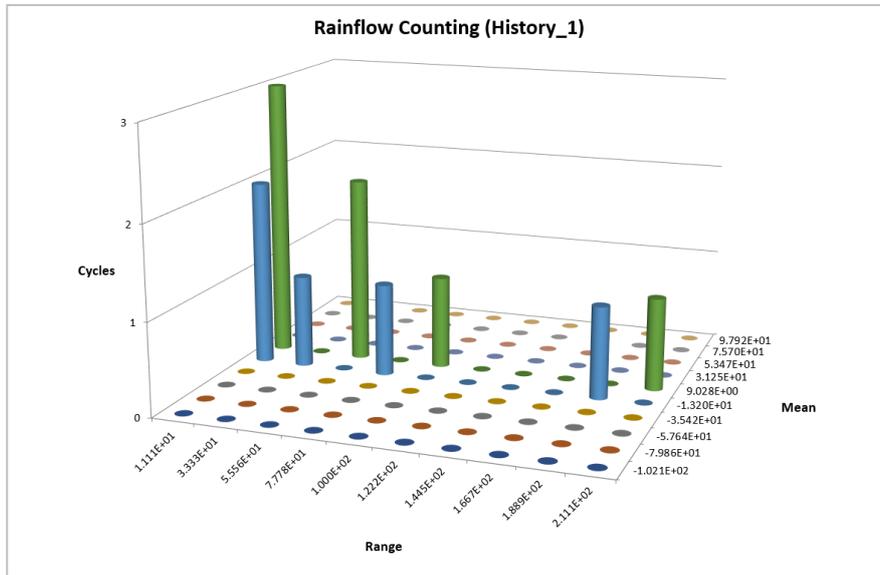
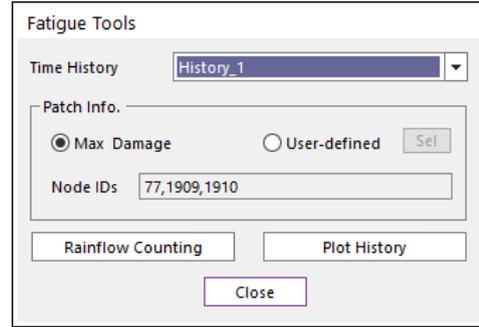
12. 点击 **Calculation**。

一个显示疲劳分析进度的进度条会出现，分析完成后，结果会出现在结果组中，如右图所示。

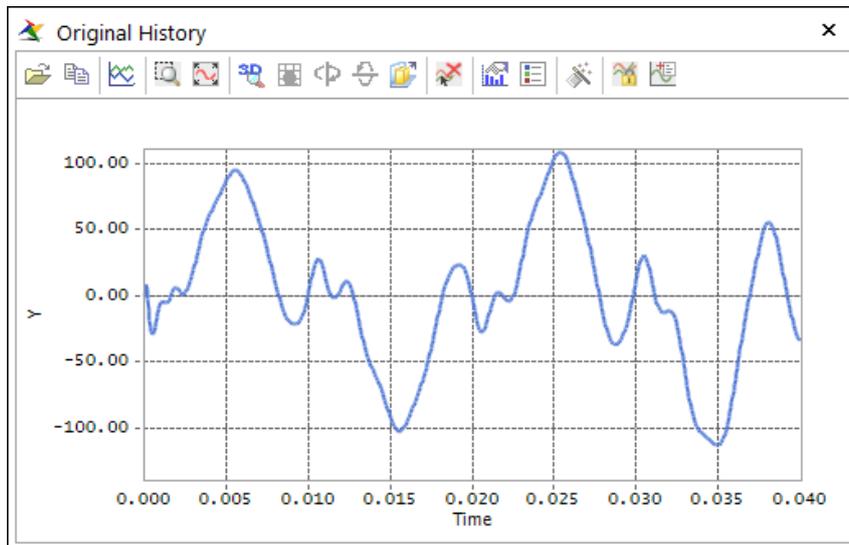


13. 在疲劳评估对话框中，点击 **Fatigue Tools**。

- 在疲劳工具对话框中，点击 **Rainflow Counting** 按钮。
- 如下图所示，**Excel** 中的雨流计数结果是以应用于损害最严重的片区的应力时间历程为基础的。结果根据应力振幅和平均应力按周期数显示。



- 在此对话框中，点击 **Plot History**。
- 如下图所示，可以查看定义片中损害最大的片上的应力时间历程。



验证等高线结果:

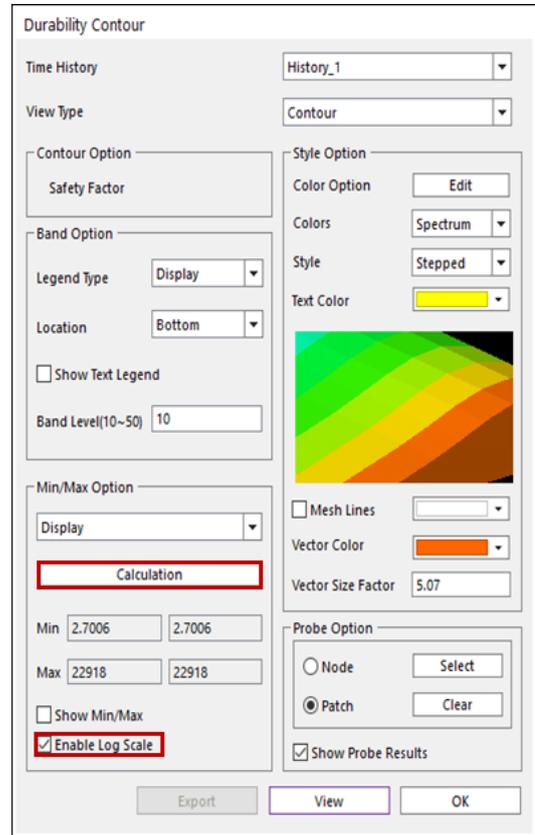


1. 在 **Durability** 标签下的 **Durability** 组中, 点击 **Contour**。

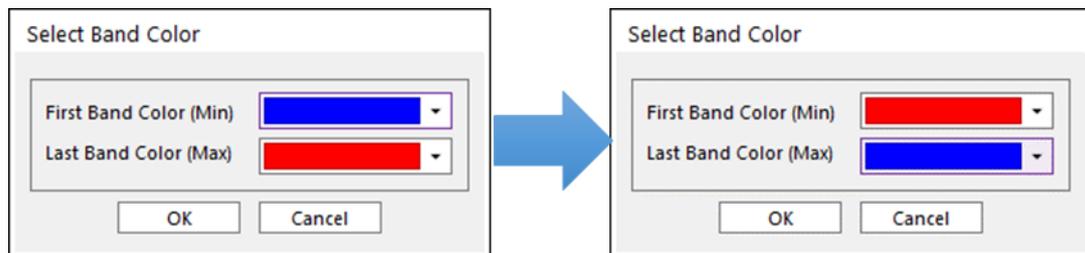
弹出 **Durability Contour** 对话框。

2. 在 **Durability Contour dialog** 窗口中, 进行以下操作:

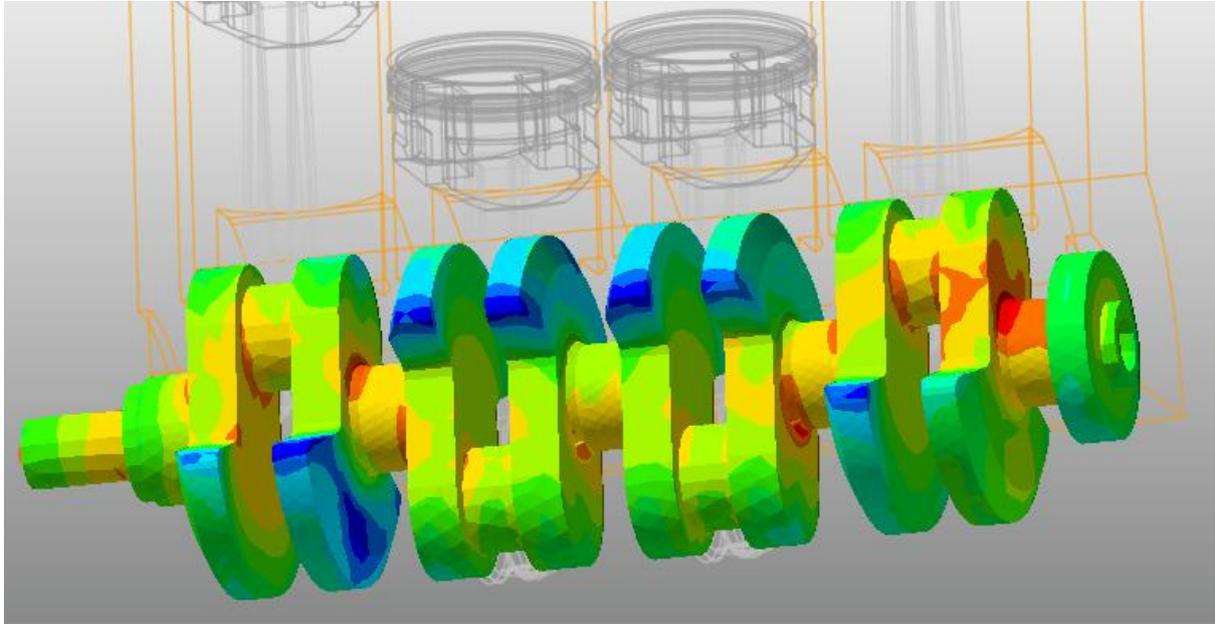
- 点击 **Calculation**。
- 选择 **Enable Log Scale**。
- 点击 **ContourView**, 查看结果。



3. 为使结果更容易查看, 点击 **Durability Contour** 对话框中的 **StyleOption** 组的 **Edit**, 将颜色更改如下。



4. 再次点击 **Contour View**，将最不耐久的部分标为红色，如下图所示。这样更容易判别疲劳寿命相对短的区域。(小贴士：在这里，如果想得到更详细的等高线图，在查看结果前，在工具栏中选择 **Wireframe**。)

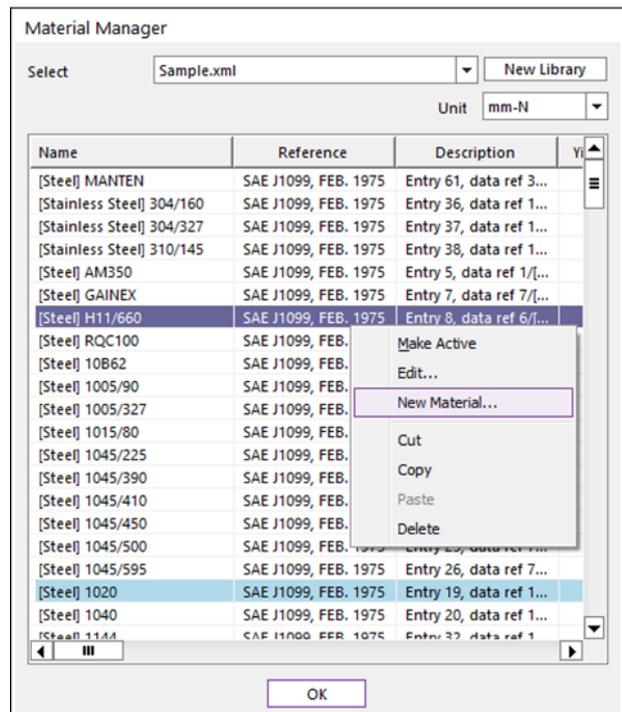


改变材料，并进行另一个疲劳评估：

1. 在疲劳评估对话框中的 **Material** 组中，点击 “...” 按钮。

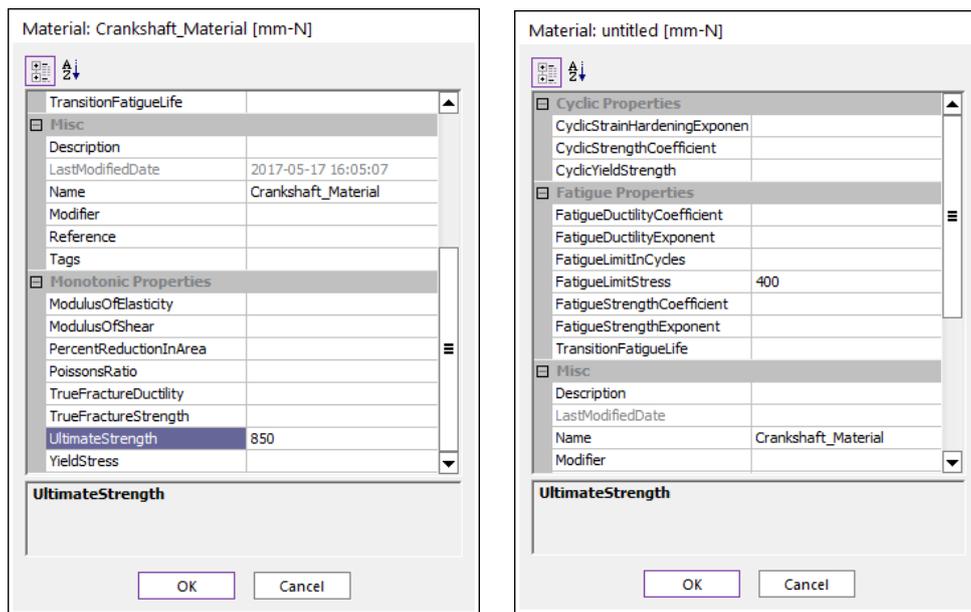
弹出材料管理对话框。

2. 右键点击列表，在上下文菜单中点击 **New Material**，如右图所示。



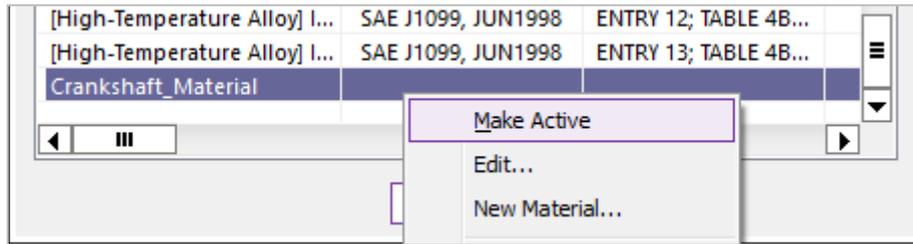
3. 在创建新材料的对话框中，完成如下操作：

- 对于 **FatigueLimitStress** 值，输入 400。
- 对于 **Name**，输入 **Crankshaft_Material**。
- 对于 **UltimateStrength**，输入 850。
- 点击 **OK**。



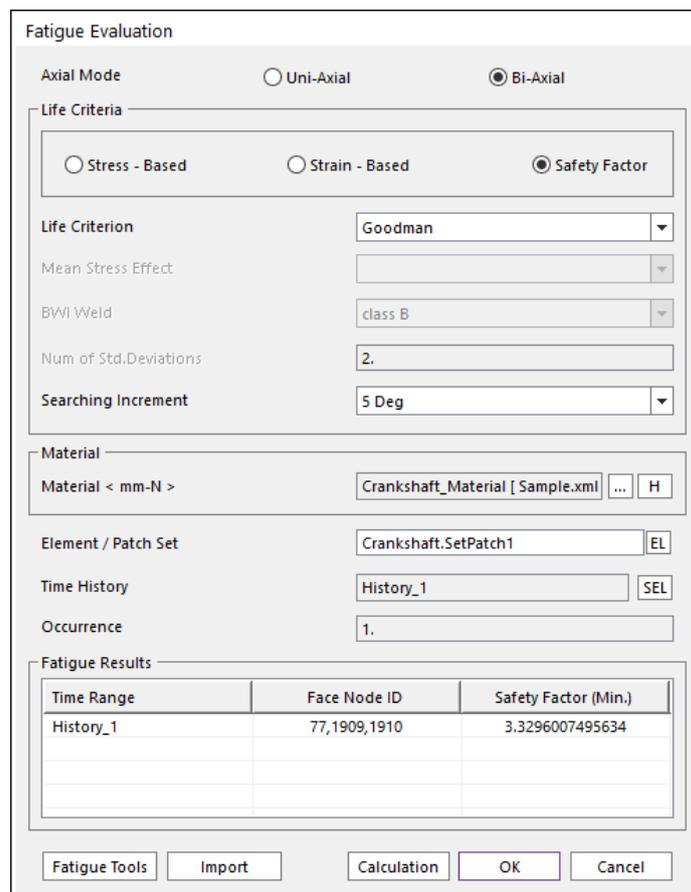
小贴士：需要用来计算安全因子的材料属性信息是疲劳极限应力和极限强度。然而，材料库提供的材料属性信息中不包括疲劳极限应力。在这种情况下，循环屈服应力代替疲劳极限应力来计算安全因子。但是，如果像这个例子一样创建新材料来计算安全因子的话，可以直接输入疲劳极限应力。

4. 回到材料管理对话框，右键点击新建的 **Crankshaft_Material**，并点击 **Make Active**。



5. 在材料管理对话框中，点击 **OK**。
6. 在疲劳评估对话框中，点击 **Calculation**。

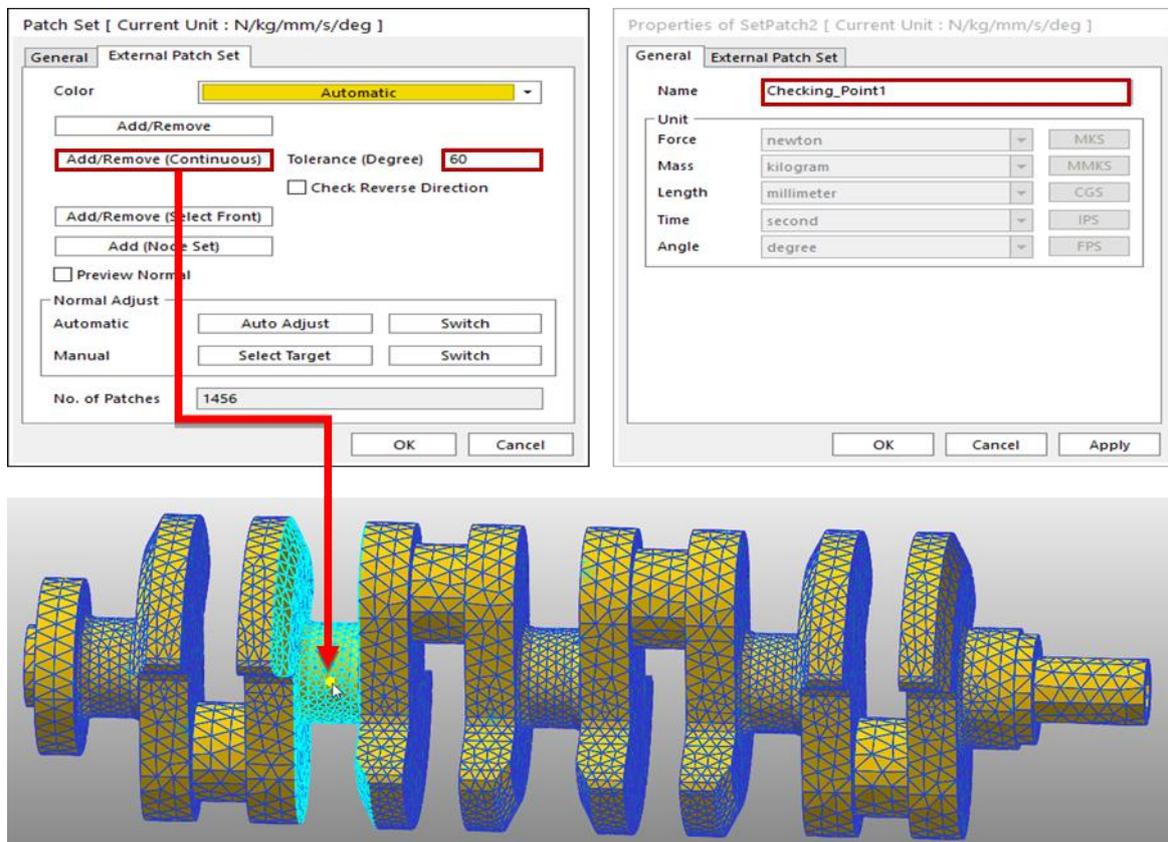
再次计算安全因子，如下图所示。疲劳极限应力以及新曲轴材料的屈服应力远大于 [Steel] 1020 的相关值。因此最小安全因子结果比之前的结果要大。



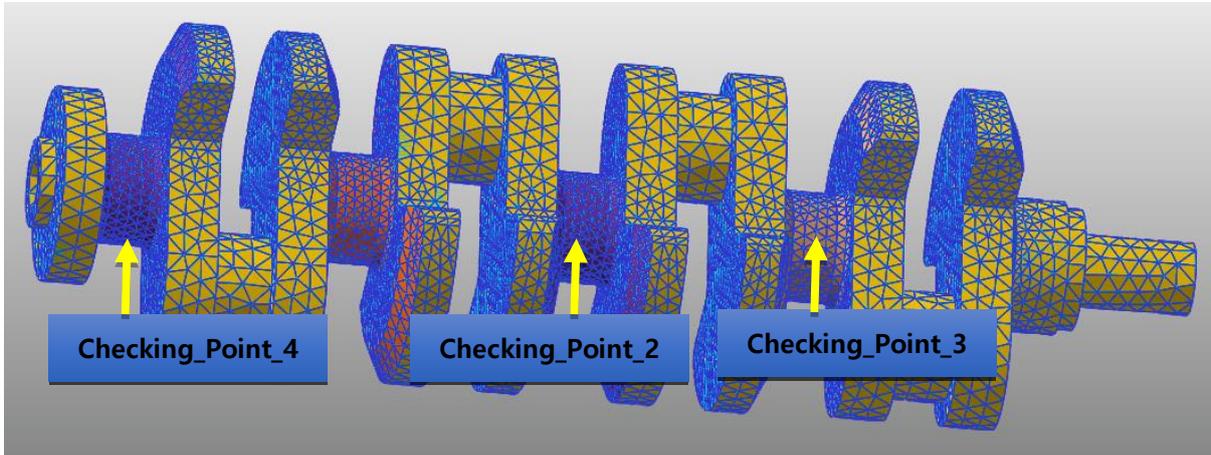
重置片集，再次获得安全因子：

在前面的步骤中，可以通过选择 **RFlex** 部件整个表面的片集来计算安全因子。因此计算会花费相当长的时间。想要减少计算时间的话，可以只在特定区域进行疲劳分析。根据 **Von-Mises** 应力等高线结果，选择相应区域并将片集只设为这些特定区域。具体操作如下：

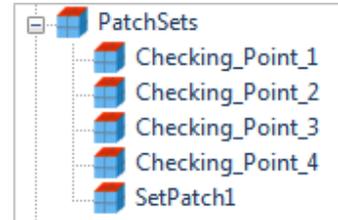
1. 双击 **RFlexBody1**，进入 **RFlex** 部件编辑模式。
2. 在 **RFlexEdit** 标签的 **Set** 组中，点击 **Patch Set**。
3. 在片设置对话框中，完成以下操作：
 - 对于 **Tolerance (Degree)**，输入 60。
 - 点击 **Add/Remove (Continuous)**，选择感兴趣的元素，如下图所示。
 - 如果所选片的 **Normal Vectors** 与相邻片之间的角度相差 60° 之内，系统会自动将其选为片集。
 - 右击元素，并在上下文菜单中点击 **Finish Operation**。
 - 在 **General** 标签中，将名称改为 **Checking_Point_1**。



- 重复步骤 3，再创建三个片集，如下图所示。在这里，片集的名称应为 **Checking_Point_2**，**Checking_Point_3** 和 **Checking_Point_4**。



创建完片集后，可以在数据库中查看每个片集的信息，如右图所示。

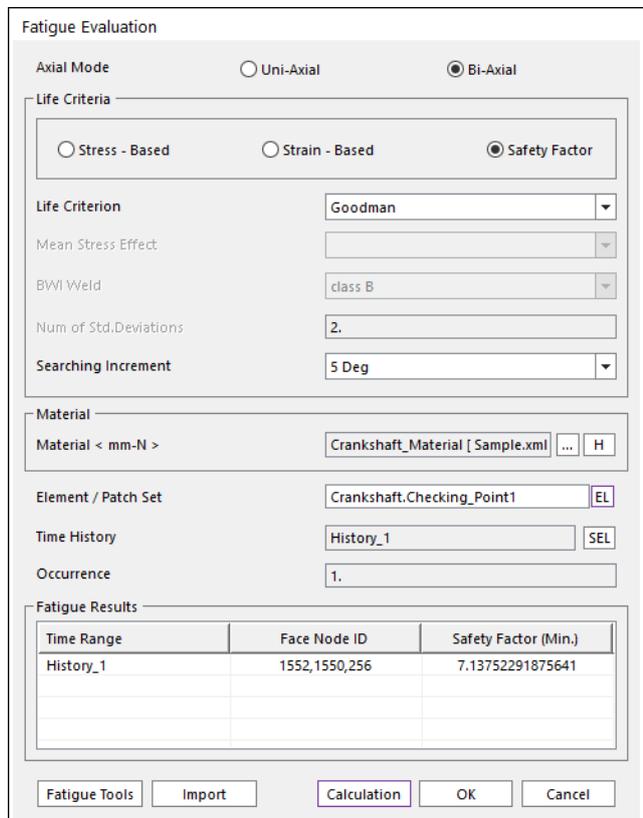


- 确保片集都已成功创建，点击 **RFLXEdit** 标签的 **Exit** 组中的 **Exit** 图标，返回到 **parent** 模式。
- 在 **Analysis** 标签的 **Animation Control** 组中，点击 **Reload the last animation file**。
- 在 **Durability** 标签的 **Durability** 组中，点击 **Fatigue**。
- 当疲劳评估对话框出现时，将 **Element/Patch Set** 的名称改为 **Crankshaft.Checking_Point_1**。不要改变其他设置。

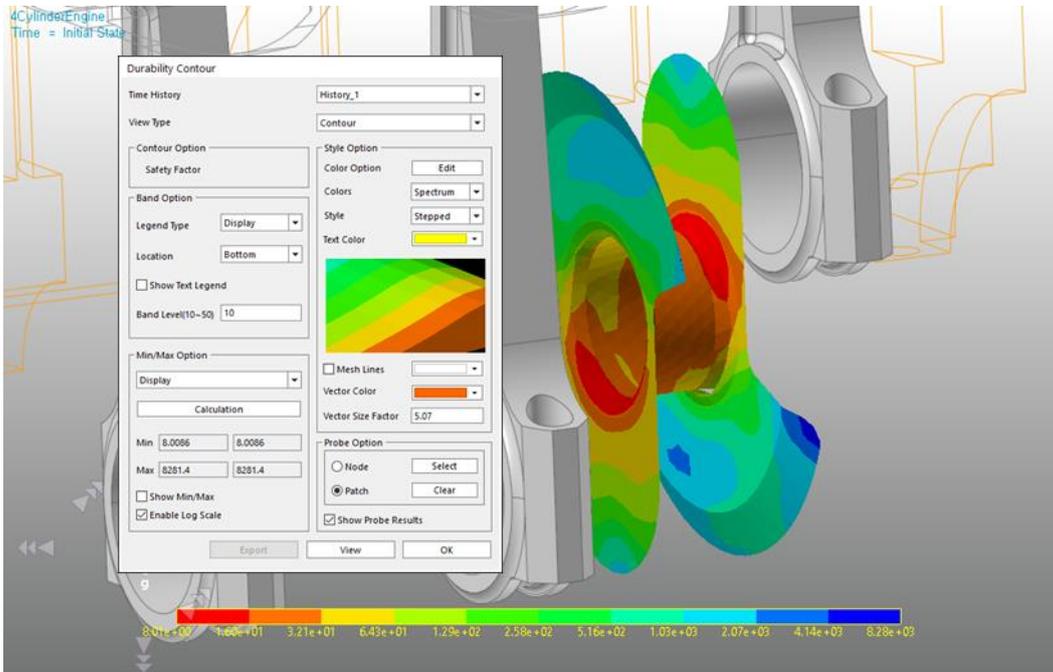
点击 **Calculation** 得到计算结果。

注意计算时间比之前快了很多。

- 点击 **OK**。



10. 在 Durability 标签的 Durability 组中，点击 Contour。
11. 在 Contour 对话框中，点击 Calculation。
12. 点击 Contour View 来显示 Checking_Point_1 的结果，如下图所示。



13. 对 Checking_Point_2, Checking_Point_3 和 Checking_Point_4 进行相同的步骤并得到结果。



评析结果

任务目标

本章演示如何评析此模型的安全因子结果。



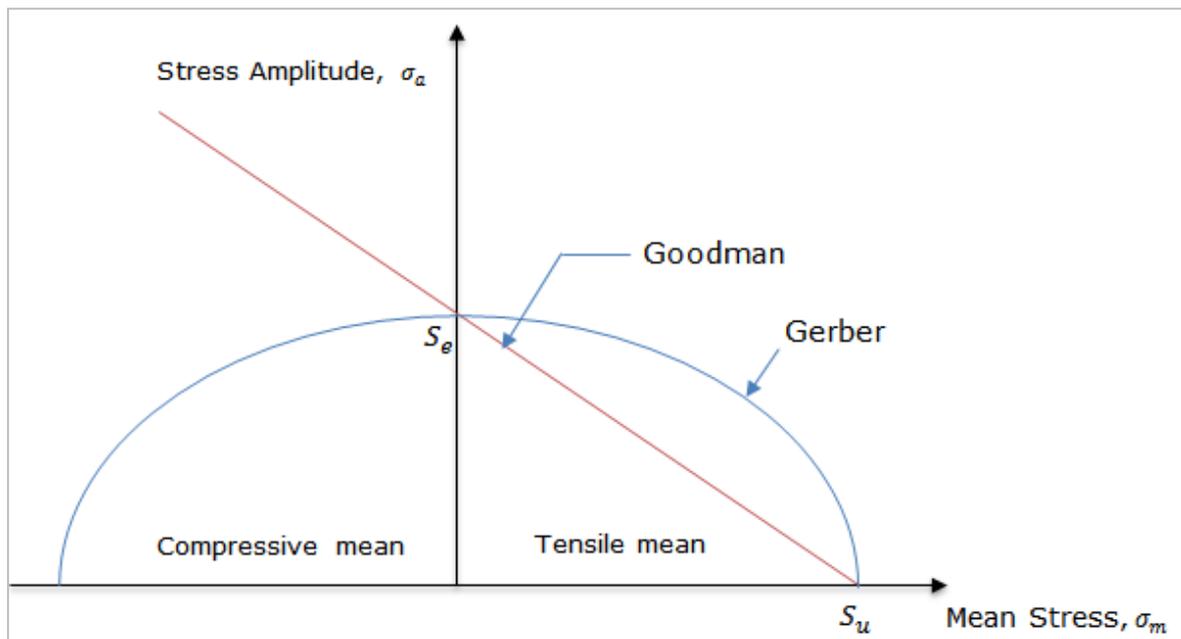
预计完成任务的时间

10 分钟

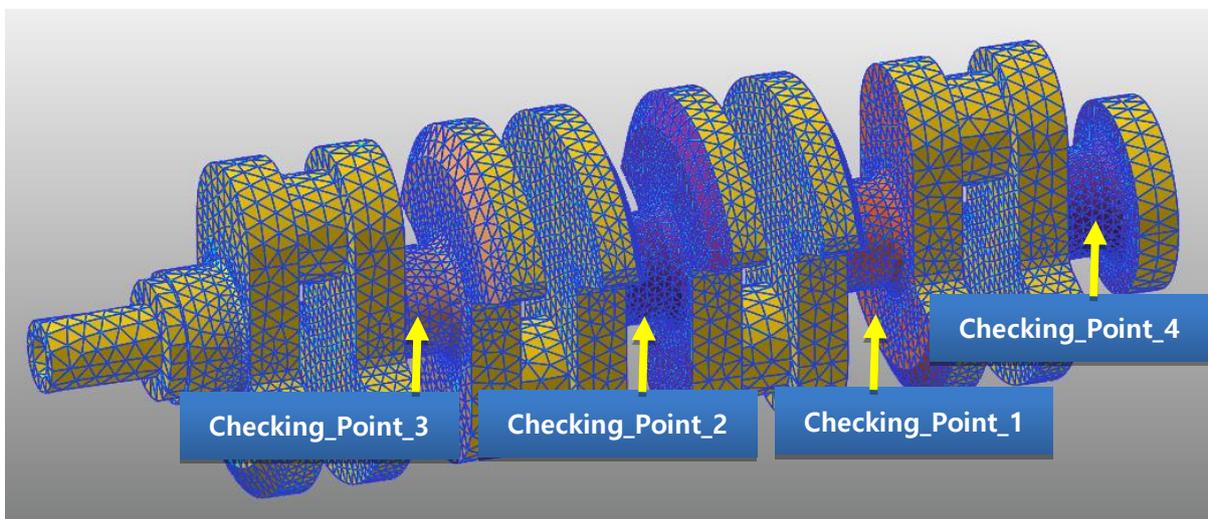
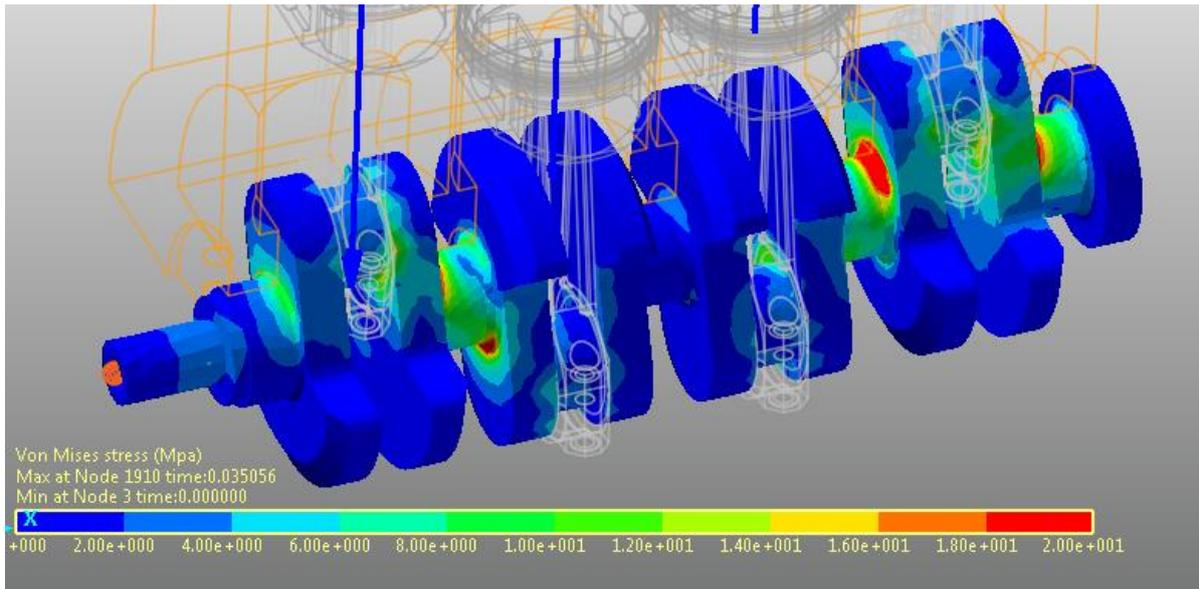
分析安全因子结果

耐久性分析的疲劳结果包括安全因子和疲劳寿命。一般来说，安全因子代表了最大应力和安全应力之间的关系。然而，疲劳分析中的安全因子表示不同的关系。

- 如下图所示，代表疲劳极限应力和极限强度之间关系的直线（**Goodman** 方法）和抛物线（**Gerber** 方法）方程式采用耐久性分析必须的雨流计数结果得到最小安全因子。



- 因此，疲劳极限应力和屈服应力足以得出安全因子。在本教程中，已经在新材料创建过程中应用过这两个数据来计算曲轴材料的安全因子。
- 本教程中进行的第一个耐久性分析大约花费 2 分钟来创建整个 **RFlex** 部件的片集并得到安全因子 (耗时可能会根据用户的电脑条件而变)。这看起来好像是很长的时间，但是可以通过以下途径缩短：
 - 1) 学习 **RFlex/等高线** 中的 **Von-Mises** 应力分布，找出结构的较弱区域。
 - 2) 将片集设为仅针对这些较弱区域。
 - 3) 如果需要反复计算疲劳结果并更改耐久性分析条件时，这个方法非常重要。



- 下表比较了最初选择的材料([Steel] 1020)和新的曲轴材料的四个片集计算得到的安全因子。

片集	材料	
	曲轴轴材料	[Steel] 1020
Checking_Point_1	7.389	4.300
Checking_Point_2	13.340	8.361
Checking_Point_3	7.896	4.599
Checking_Point_4	3.403	3.329

- 因为新的曲轴材料的比例极限和屈服应力比[Steel] 1020 要更大，新的曲轴材料有更高的安全因子。此外可以看到最小的安全因子来自区域 **Checking_Point_4**。

- 总体而言，一个结构的安全因子可以用最大应力和屈服应力之间的关系来表示。假设本教程中采用的曲轴 **Checking_Point_4** 的最大应力为 72 Mpa，[Steel]1020 的屈服应力为 262 Mpa，那么安全因子可以计算为 $262/72=3.63$ 。然而，在本教程中得到的结果是 2.24，存在差异。
- 如果曲轴在发动机中只得到静态负载而没有动态负载，那么用屈服应力和最大应力计算得到的安全因子非常重要。然而，当这个结构表现出动态行为时，例如曲轴，那么疲劳分析得出的安全因子就变得很重要。

感谢学习本教程!