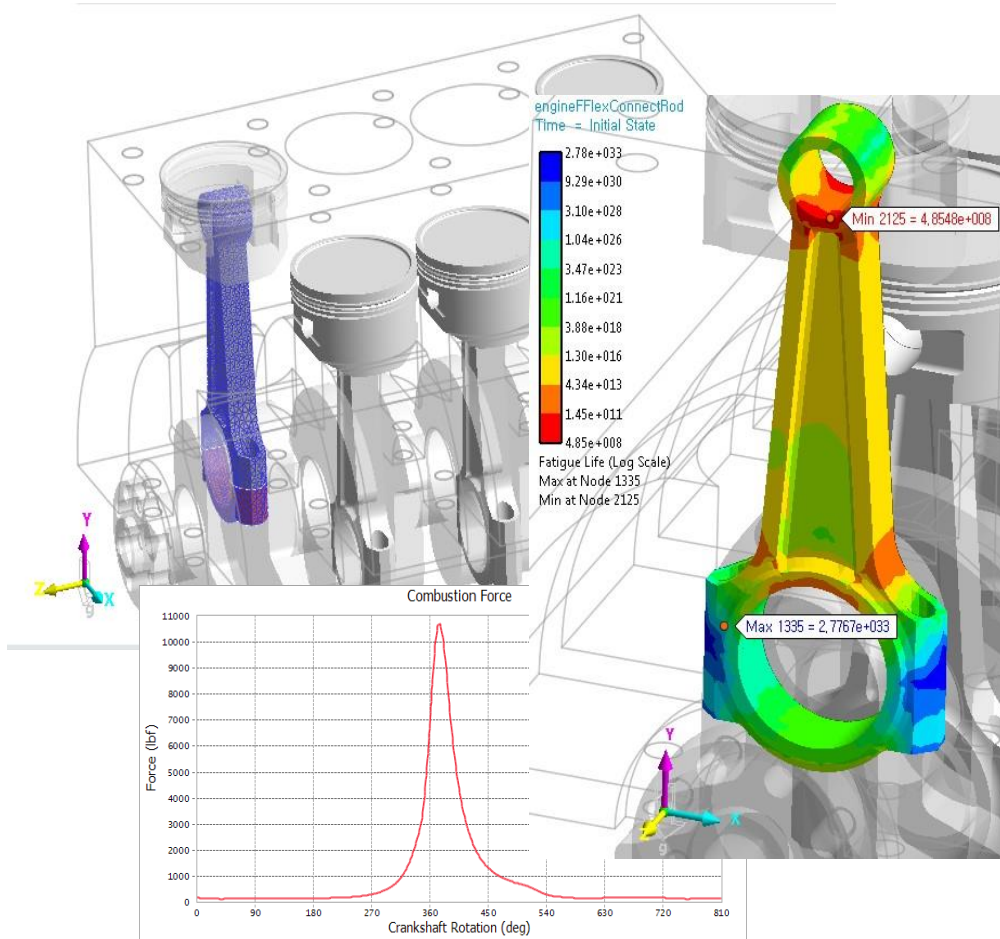


Durability FFlex 连杆教程



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 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

预备工作	4
目的	4
读者	4
预备知识	4
步骤	4
预计完成的时间	5
回顾模型的建立	6
任务目标	6
预计完成的时间	6
回顾动态仿真结果	10
实施疲劳分析	13
任务目标	13
预计完成的时间	13
定义用于疲劳分析的表面	14
设置并运行疲劳分析	16
查看疲劳分析结果	20
保证选择足够的帧数	22



预备工作

目的

多体动力学系统中柔性体的建模和仿真使得用户可以从仿真中获得更精确的结果。对此，RecurDyn 提供了两种途径：Reduced Flex (RFlex) 和 Full Flex (FFlex)。当非柔性体与柔性体之间连接有明确附着点、没有接触、而且是线性范围内小变形时，RFlex 可以迅速仿真模型。另一方面，FFlex 可以处理柔性体的滚动和滑动接触，以及呈非线性行为柔性体的较大形变。

一旦一个柔性部分在单个工作周期内的动力学行为分析完成，用户就可以用 RecurDyn/Durability 轻松预测出这个部分的寿命。这个完全集成的 RecurDyn 模块可以实现从动态分析结果到疲劳分析的无缝转移，用户可以从工业最常用的数十个疲劳模型中选取合适的来预测疲劳寿命。同时，这个模块还包含了一个基于 SAE J1099 技术报告的疲劳材料库，包含 180 种常用材料。

此教程中使用的案例是四缸发动机的连杆。显然这个部件会多次承受来自活塞燃烧室产生的燃烧力带来的负荷。

读者

此教程面向 RecurDyn 的中级用户（已经学习过如何使用 RecurDyn/FFlex 建立柔性体模型）。所有的新任务都已详细解释。

预备知识

用户应先学习 3D Crank-Slider、Engine with Propeller 以及 Pinball (2D 接触) 的教程，或者学习 FFlex Compliant Clutch 教程。用户需要掌握物理学的基础知识。

步骤

此教程包含了以下步骤。完成每个步骤的预计时间如下表所示。

步骤	时间（分钟）
回顾 FFlex 模型建立与动态仿真结果	10
实施疲劳分析并查看结果	20
总计	30



预计完成的时间

完成此教程大约需要 30 分钟。

Chapter 2

回顾模型的建立

任务目标

学习模型以及对柔性连杆的特殊考虑。

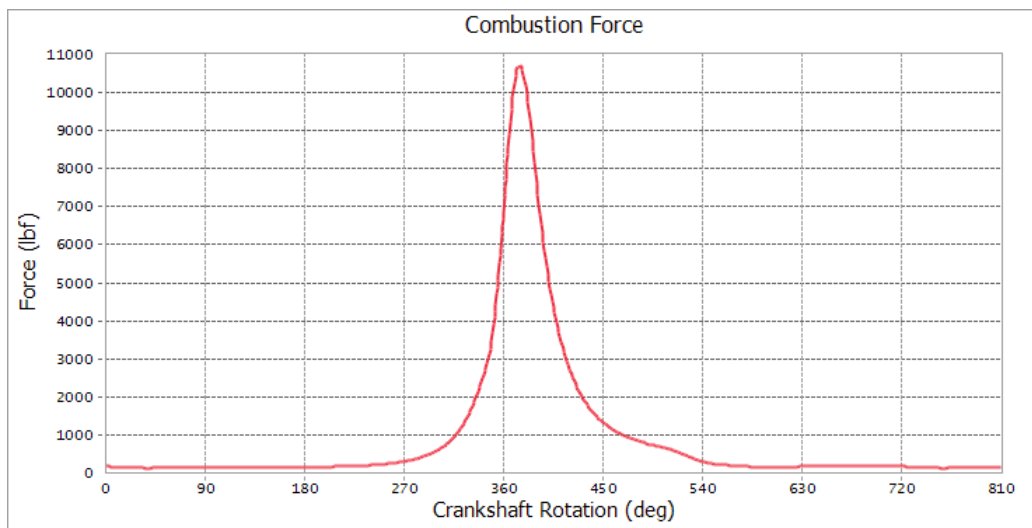
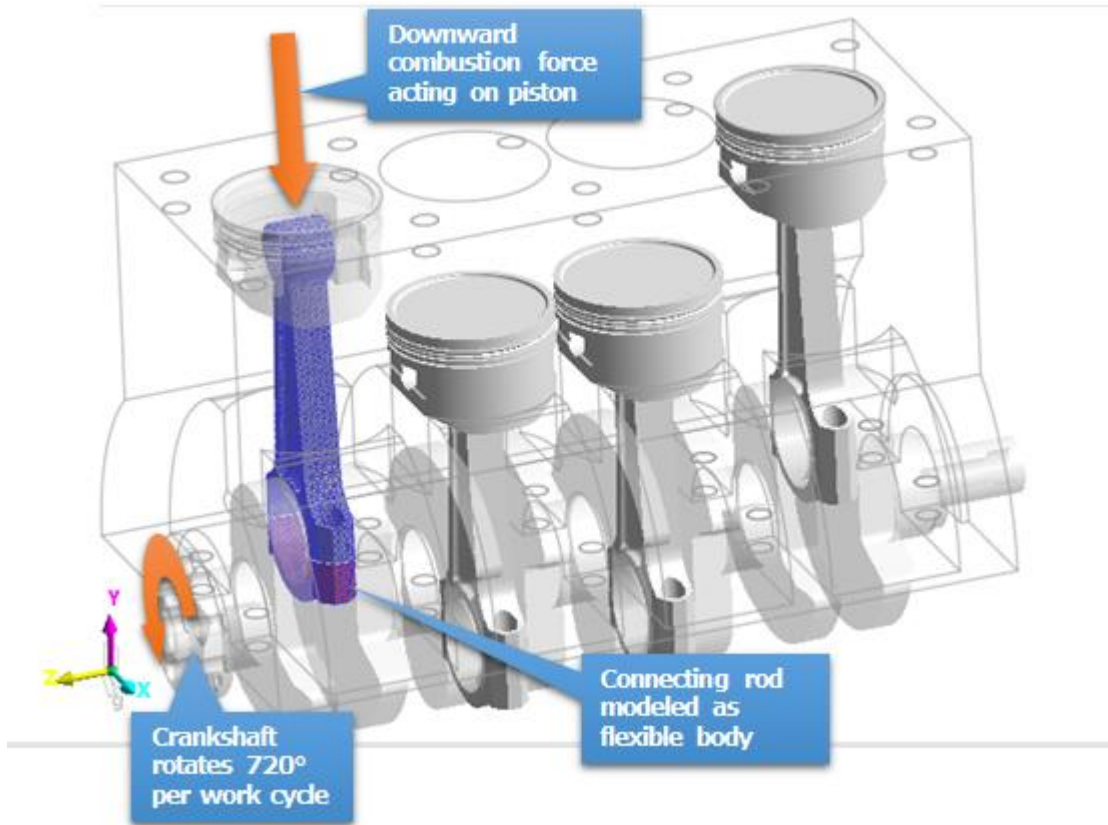


预计完成的时间

5 分钟

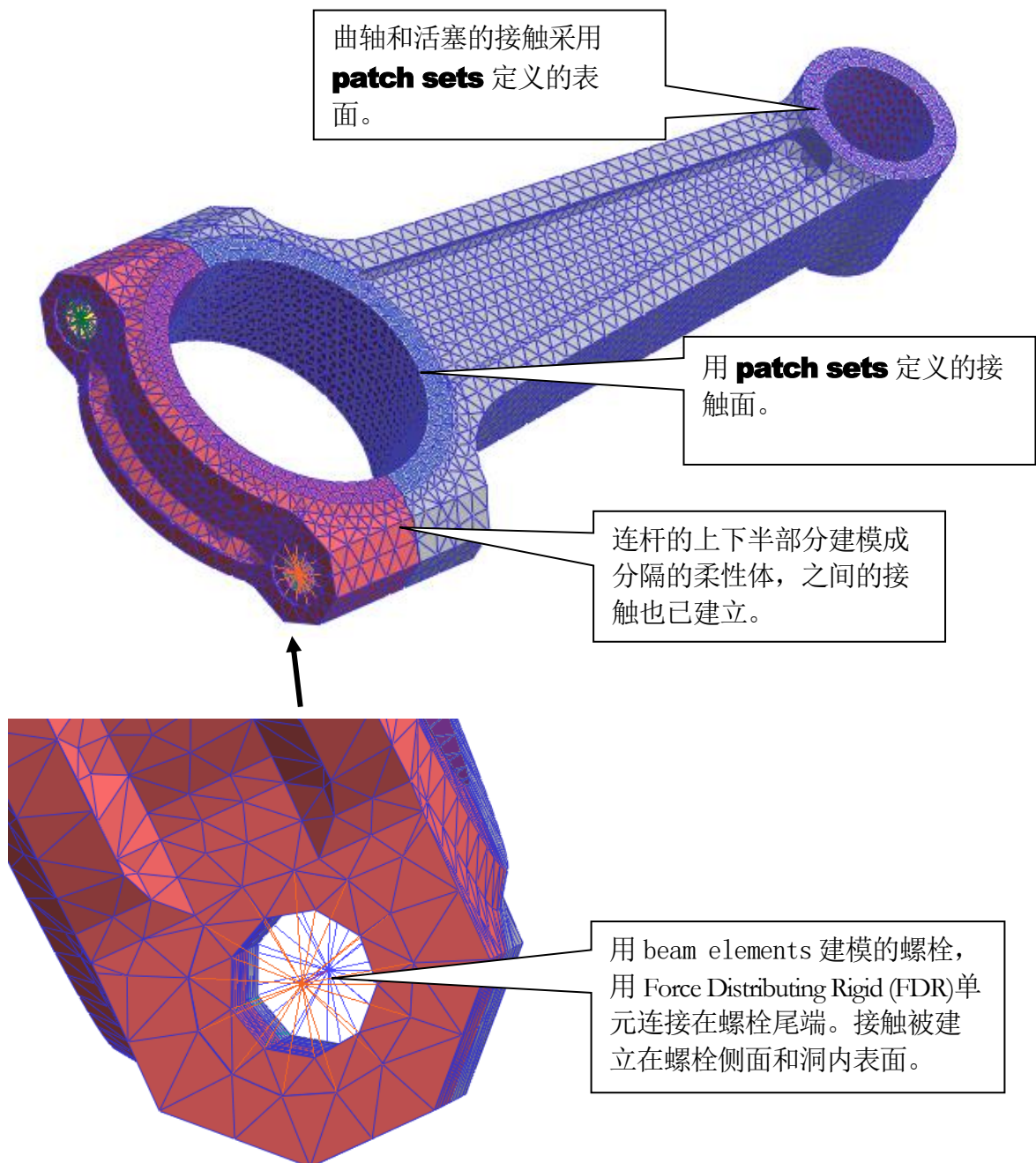
带有柔性连杆的发动机模型

此教程中采用的模型是一个传统内燃机，其中一个连杆建模成 RecurDyn/FFlex 柔性体。

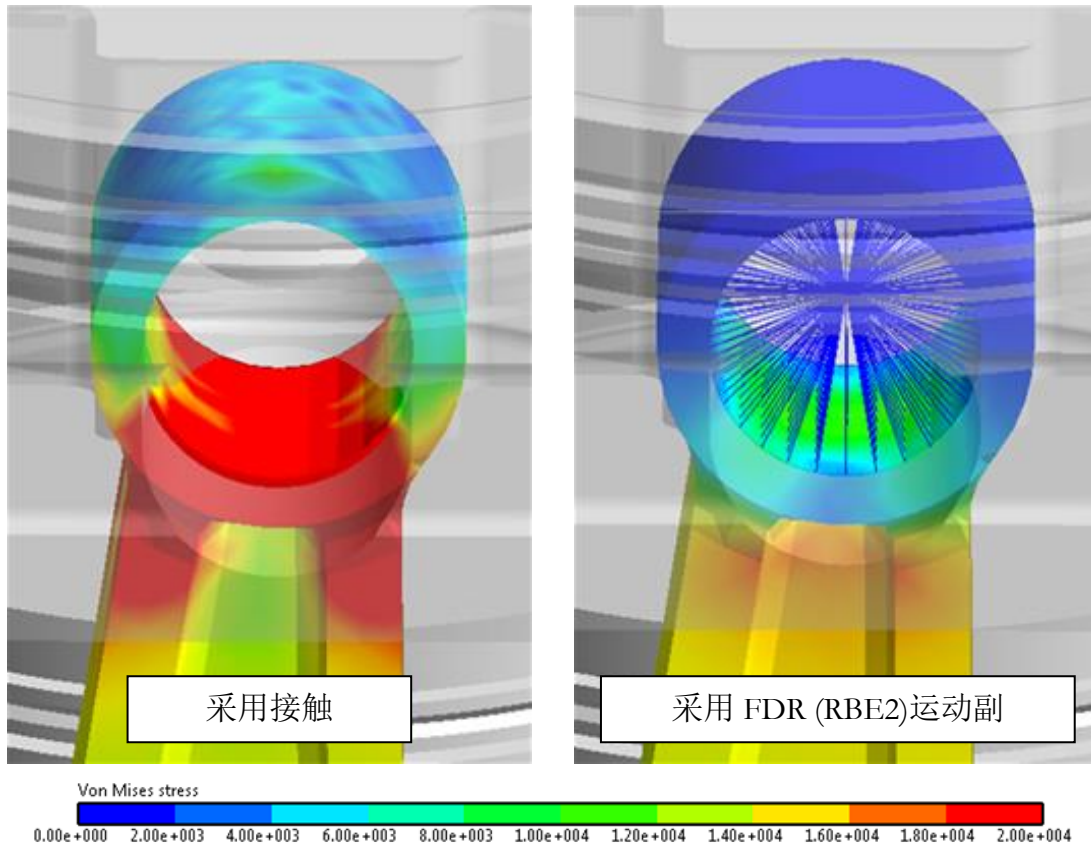


如上图所示，燃烧力在曲轴旋转 360° 后会很快到达一个较大的峰值。整个周期应该在曲轴旋转 720° 后结束。但是这个模型的动态仿真会运行稍微久一点，允许曲轴旋转 810° ，理由后文会解释。速度为 3,000 RPM 时，仿真时间 0.045 秒。

下图就是 FFlex 连杆。出于此教程目的的考虑，采用的是比能得到最精确结果的网格粗糙的网格。为了能更精确的反应实际情况，连杆用螺栓连接的两部分被分别划分网格。上下两部分之间的接触已经建立。螺栓采用类似 RBE2 单元的 Force Distributing Rigid (FDR) 单元固定在尾端，螺栓的接触也已建立。



在将这个部件连接到曲轴和活塞上时，不采用任何运动副（即旋转副），只建立柔性体和与其相连的部件之间的接触。这么做的重要性可以在下图中体现出来。



上图是两个不同但相似的仿真结果。在两个仿真中，图片都是在燃烧力达到峰值时截取的，先后对活塞和连杆施加一个向下的力。在一个仿真中，只用接触来模拟活塞和连杆之间的连接。接触使得这个力实际被主要施加在柱面底部，这样冯·米塞斯应力就集中在了底部而不是上部。在另一个仿真中，采用了一个旋转副和一个 Force Distributing Rigid (FDR)单元（类似于 RBE2 单元）来在多个节点中分散运动副负载。在这个情况下，FDR 在结构中引入人为的刚度，减少了运动副周围整个区域上的内部应力。

因此，在此教程中，我们采用活塞与连杆之间定义有接触的 FFlex 模型，以便检查高压区域的疲劳寿命。

回顾动态仿真结果

下面将调整 FFlex 等值线图设定、播放仿真结果的动画，来观察在单个工作周期中连杆何时何处出现大的应力。

观看动态仿真结果



1. 启动 **RecurDyn**, 打开 **engineFFlexConnectRod.rdyn** 模型。(文件地址: <Install Dir> \Help\Tutorial \Durability \FFlexConnectingRod)。

2. 在 **File** 菜单中, 单击 **Save As**。

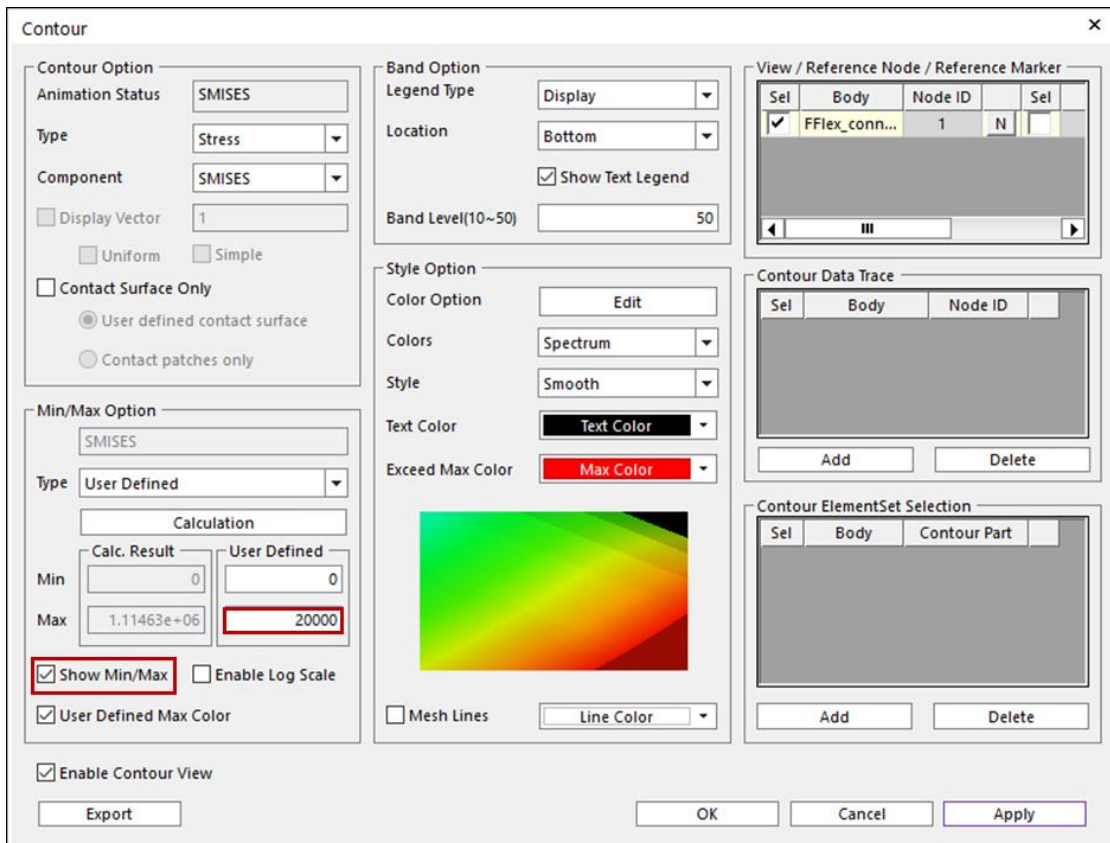
(将此模型保存在不同路径中, 因为无法直接在教程路径中模拟。)

3. 在 **Analysis** 选项页上选择 **Dyn/Kin** 按钮图标, 然后在 **Dynamic/Kinematic Analysis** 对话框中单击 **Simulate** 按钮。



4. 在 **FFlex** 工具箱中, 选择 **Contour**。

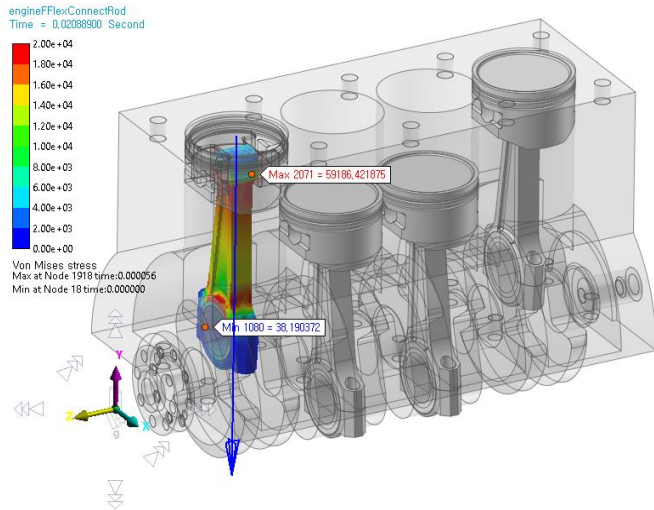
5. 按下图所示进行设置。



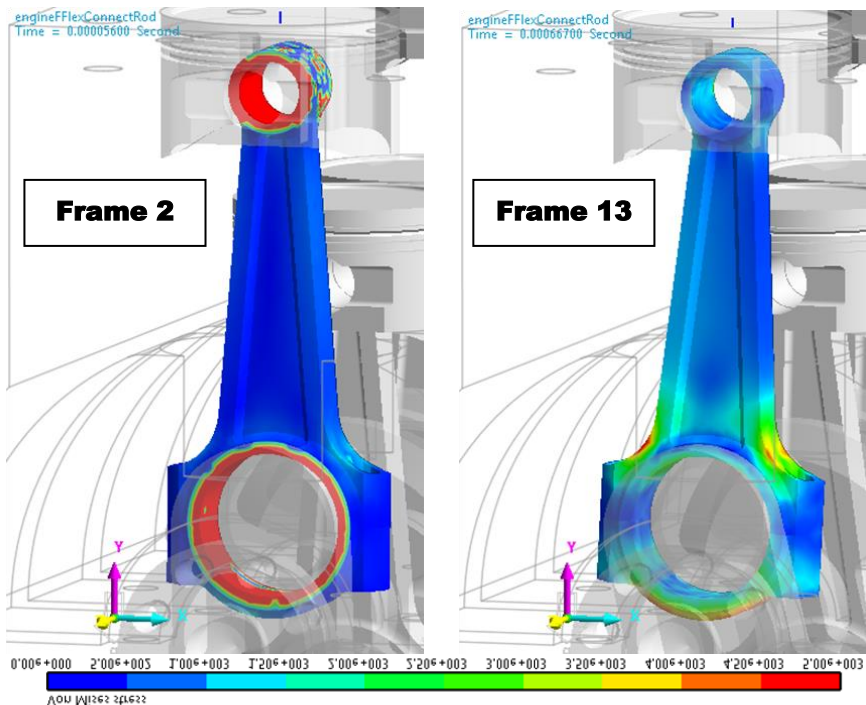
6. 点击 **OK**。

▶ 7. 在 **Analysis** 选项页上 **Animation Control** 区，选择 **Play** 按钮。

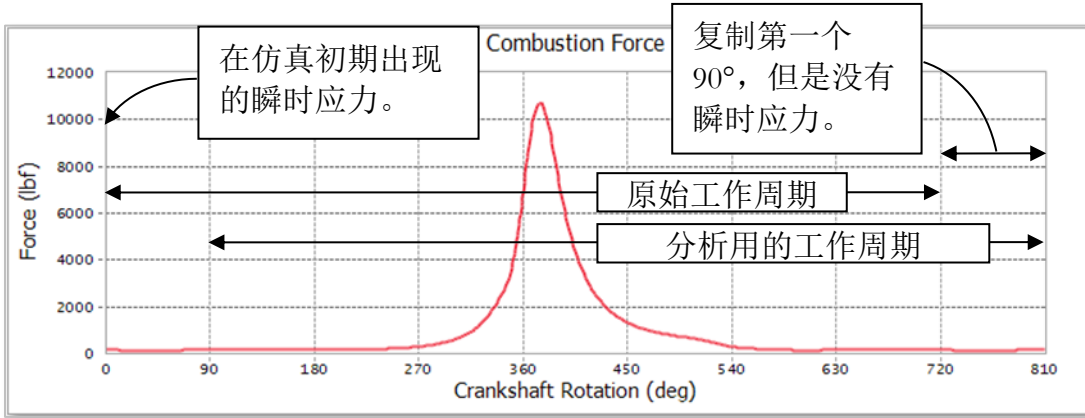
可以看到应力在约 377 帧时突然增加，燃烧力达到峰值。如果将比例尺上的最大应力值调到 20,000 (lb/in²)，会出现一个等值线图，如右图所示。



在仿真开始时，可能会看到连杆内出现了一些瞬时应力，在约 13 帧时消失。如下页所示，这些应力集中在连杆与活塞和曲轴触的地方。在此模型中，这些瞬时效应很难避免，它们是由机器启动时的高初始速度和柔性体初始速度或加速度不匹配导致的。然而对于疲劳分析来说，我们可以直接忽略这些出现瞬时应力的初始帧，按接下来的做法，它们不会影响分析结果。



为了避免在捕捉曲轴第一次 90° 旋转时出现瞬时应力，仿真的结束时间被延长到允许曲轴完成 720° 工作周期旋转后再转 90°。这样我们就可以把最后一次 90° 旋转放到第一次 90° 旋转的地方，因为它是第一次 90° 旋转的复制，差别只是没有由仿真初始阶段导致的瞬时应力。



Chapter 3

实施疲劳分析

下面将完成运行疲劳分析的必要步骤。包括定义实施疲劳分析的表面，定义疲劳分析设置，从疲劳材料库中选择材料。

任务目标

学习：

- 新建一个表面来定义疲劳分析表面。
- 定义疲劳分析参数。
- 选择一种疲劳材料库中有的材料。
- 选择用于疲劳分析的动态分析数据（动画帧）。
- 运行疲劳分析，显示等值线图结果。



预计完成的时间

20 分钟

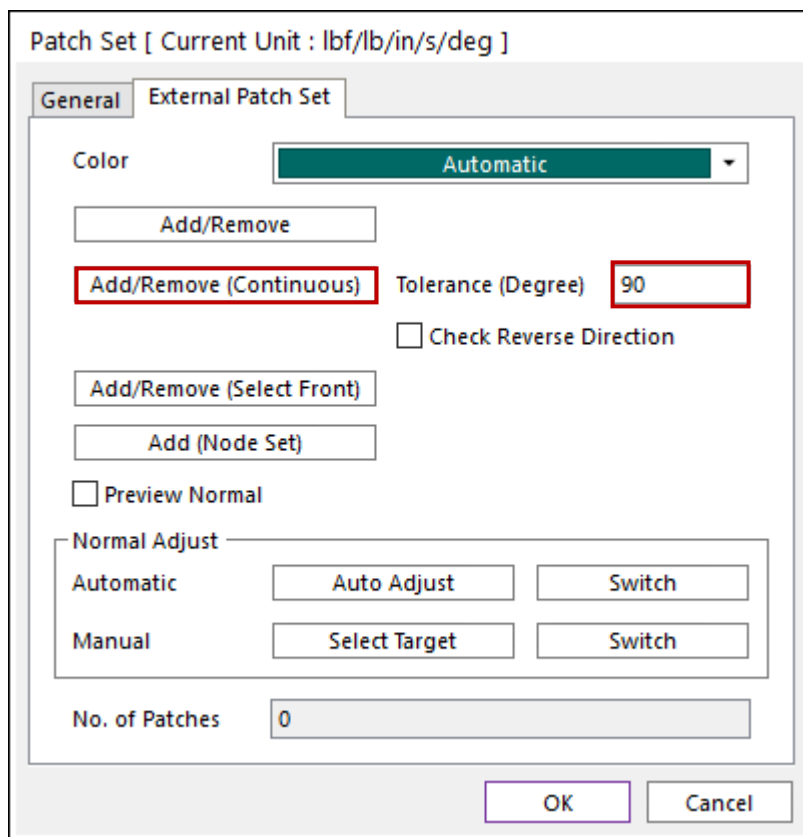
定义用于疲劳分析的表面

疲劳分析将在部件的整个外部表面上执行，因为一些失效是由于出现在表面的裂缝导致的疲劳。选择 FFlex 实体的这个子集也会通过将计算限制在比全部单元数量更小的面集合中来减少疲劳分析的计算要求。

为了定义用于疲劳分析的表面，须新建一个包含了该部件表面上所有面单元的片集。

为疲劳分析新建一个片集：

1. 进入 **FFlex_connectRod** 部件编辑模式。
2. 在 **FFlex Edit** 标签下面的 **Set** 区, 选择 **Patch Set** 工具。

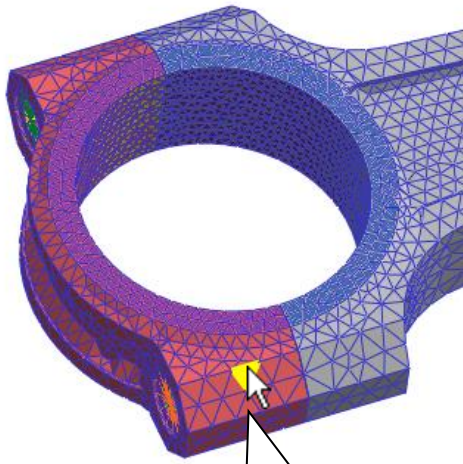


3. 将 **Tolerance (Degree)** 设为 **90**。

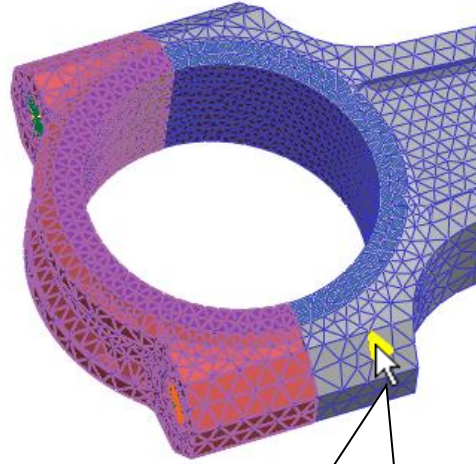
完成此项设置后，用户在选择一个初始面单元后，RecurDyn 会选中任何与该初始面成 90° 的相邻面，再选中与这些面成 90° 的相邻面，如此反复。因为在这个部件中没有边是小于 90° 的，因此所有的外表面都会被选中。

4. 选择 **Add/Remove (Continuous)**。

5. 如下图所示，先在连杆的下半部选择一个种子面单元。



首先，在底部点击一个种子面元素。



然后，在上部单击一个种子面元素。

6. 接下来，按住 Shift，在上部点击一个种子面单元。

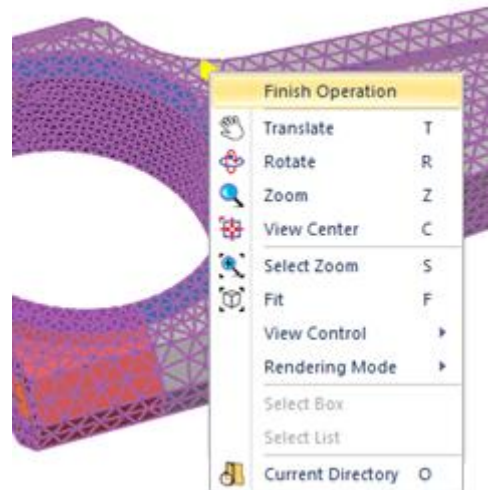
上部和下部的单元边缘都会高亮显示，如下图所示。

7. 右键单击屏幕上任意位置，选择 **Finish Operation**。

8. 单击 **OK**。

现在一个包含了连杆上下部全部外表面的片集已经建立完成。

9. 退出部件编辑模式，回到模型的顶层。



设置并运行疲劳分析

现在疲劳分析表面已经定义完成，可以运行疲劳分析了。但是因为疲劳分析依赖于动态分析的结果，所以必须再次导入动画。注意定义完分析表面后不必再次运行动态仿真。

导入动态分析动画数据：

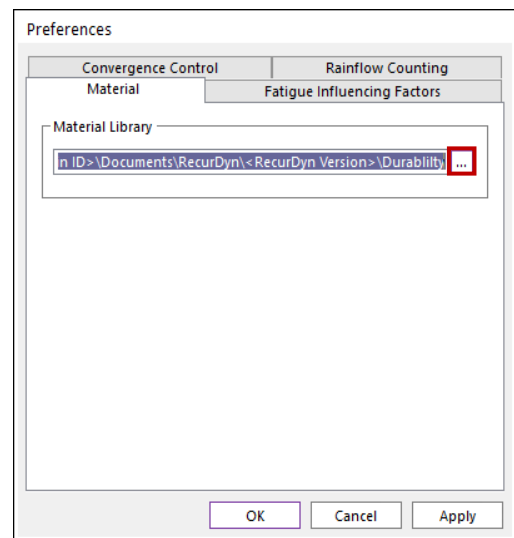


1. 在 **Animation Control** 组中点击重新导入最后一个动画文件的图标。

设置并运行疲劳分析：



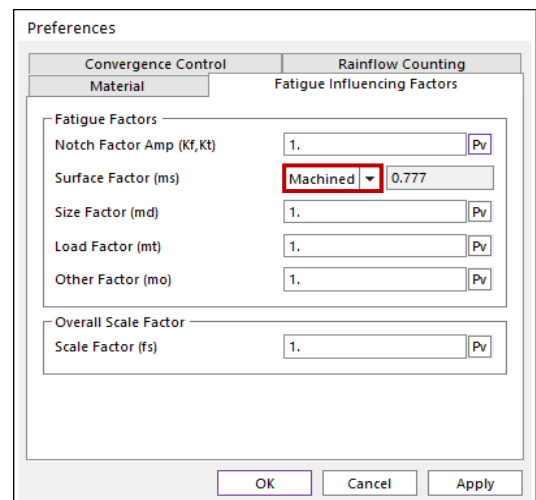
1. 在主菜单中的 **Durability** 标签下，选择 **Preferences** 工具。
2. 在 **Material** 标签下，点击 ‘...’按钮来设置材料库在电脑里的位置。

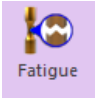


3. 目录地址 **C:\Users\<Your Windows Login ID>\Documents\RecurDyn\<RecurDyn Version>** (或其他，根据用户的运行系统而定)

如果想定义包含材料库的路径，新建一个叫 **Durability** 的目录然后选择它。

4. 单击 **OK**。
5. 选择 **Fatigue Influencing Factors** 标签。
6. 将 **Surface Factor (ms)** 设为 **Machined**。
7. 单击 **OK**。



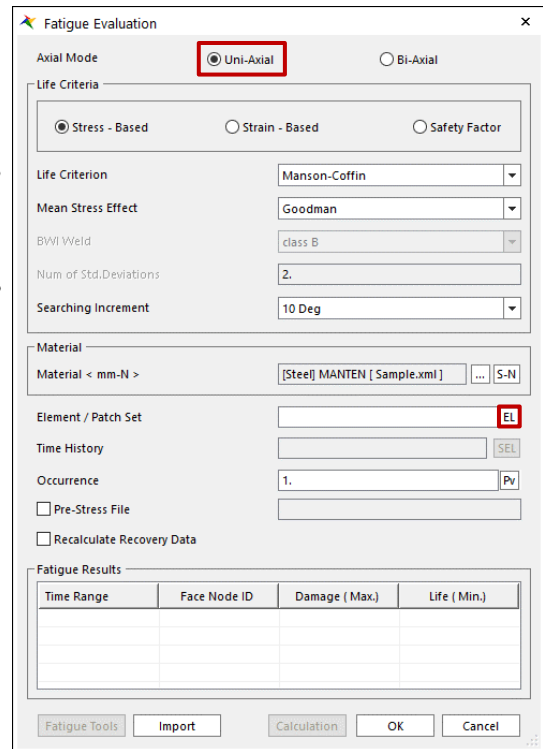


8. 在 Ribbon 菜单中的 Durability 标签下, 选择 Fatigue 工具。

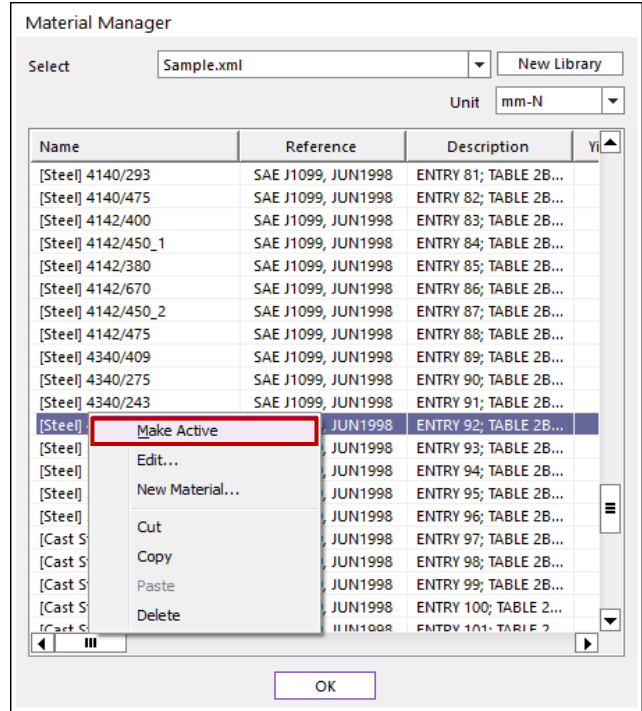
9. 确保 Axial Mode, Life Criterion, Mean Stress Effect 和 Searching Increment 设置如右图所示。

(特别的, Axial Mode 应该定义为 Uni-Axial。
)Deg 度

10. 在 Material 区域, 单击‘...’ 按钮来选择材料。

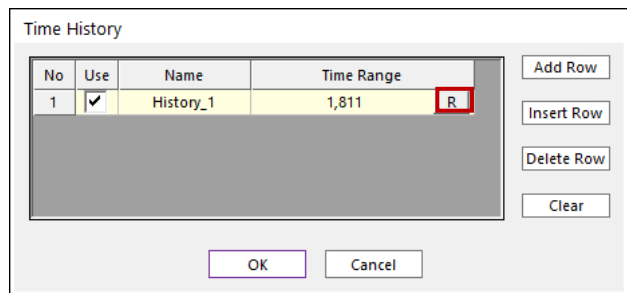


11. 向下滚动到[Steel] 4340, 右键单击选择 **Make Active**。(美国 SAE 标准 4340, 相当于国内 GB 钢号 40CrNiMoA)
12. 单击 **OK**。



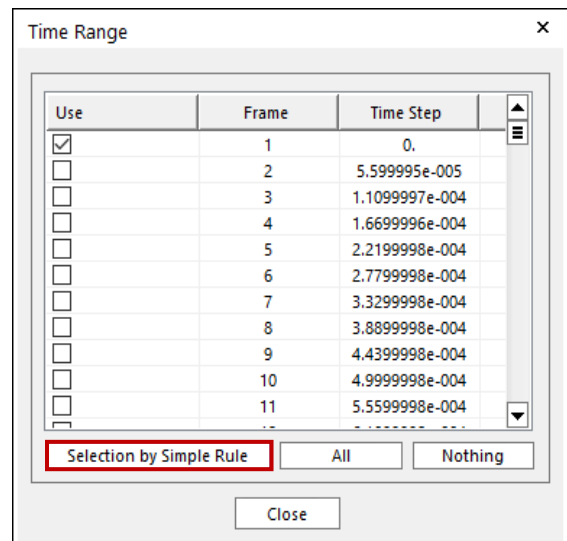
13. 回到疲劳评估对话框, 在 **Element / Patch Set** 区域, 选择 **EL** 按钮。
14. 在建模窗口, 选择刚刚新建的片集(**FFlex_connectRod.SetPatch20**)。

15. 在 **Time History (Frame)**区域, 单击 **SEL** 按钮建立时间历时集, 选择在每个集中要包含进疲劳分析的动画帧。



16. 将时间历程的名字从 **History_1** 改为 **History_721**。

17. 单击时间历程对话框上的 **R** 按钮, 改变时间范围。
18. 单击 **Selection by Simple Rule** 按钮。



19. 在 **Initialize before Update** 旁边的框中打钩。

20. 完成如下设置:

- **Start Index:** 91
- **Increments in Index:** 1
- **Number of Selections:** 721

21. 单击 **OK**, 然后会看到定义的时间范围如右下图所示。

22. 单击 **Close**.

- 单击时间历程对话框底部的 **Add Row** 按钮, 然后再新建一个名为 **History_361** 的时间历程。

23. 重复 17~ 19 步骤, 将时间范围设置如下:

- **Start Index:** 91
- **Increments in Index:** 2
- **Number of Selections:** 361

24. 新建一个名为 **History_181** 的时间历程, 时间范围设置如下:

- **Start Index:** 91
- **Increments in Index:** 4
- **Number of Selections:** 181

No	Use	Name	Time Range
1	<input checked="" type="checkbox"/>	History_721	91,92,93,94,95,96,97,9... R
2	<input checked="" type="checkbox"/>	History_361	91,93,95,97,99,101,10... R
3	<input checked="" type="checkbox"/>	History_181	91,95,99,103,107,111,... R

25. 将定义的时间历程集更改如右上图所示, 单击 **OK**。

26. 回到疲劳评估对话框, 单击 **Calculation** 按钮。

疲劳分析将会花几秒的时间执行三次, 然后结果会显示如右图所示。

Time Range	Face Node ID	Damage (Max.)	Life (Min.)
History_721	5685,2125,2098	2.5399313271655...	393711432.
History_361	5685,2125,2098	3.3500121056037...	298506384.
History_181	5685,2125,2098	3.1232269538184...	320181663.

27. 单击 **OK**。

查看疲劳分析结果

查看疲劳分析结果：



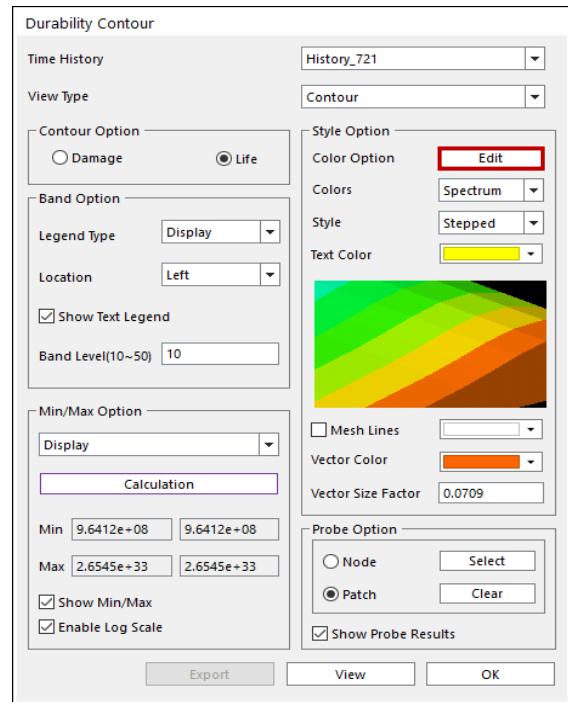
1. 在主菜单下的 **Durability** 标签中，选择 **Contour** 按钮。

2. 完成如右图所示的设置。

注意时间历程应定义为 **History_721**。

3. 在 **Style Option** 区域, 单击 **Color Option** 旁边的 **Edit**。

为了更清楚的观察寿命数据，通过改变颜色选项，将低值标为红色，高值标为蓝色。

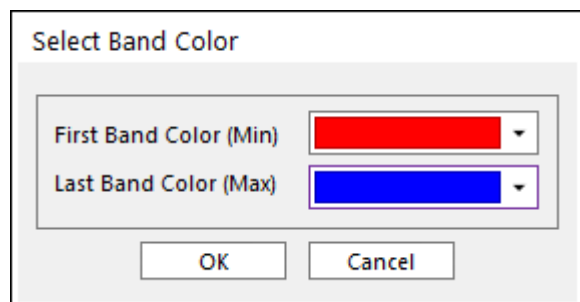


4. 如右图所示，选择低值颜色为红色，高值颜色为蓝色。

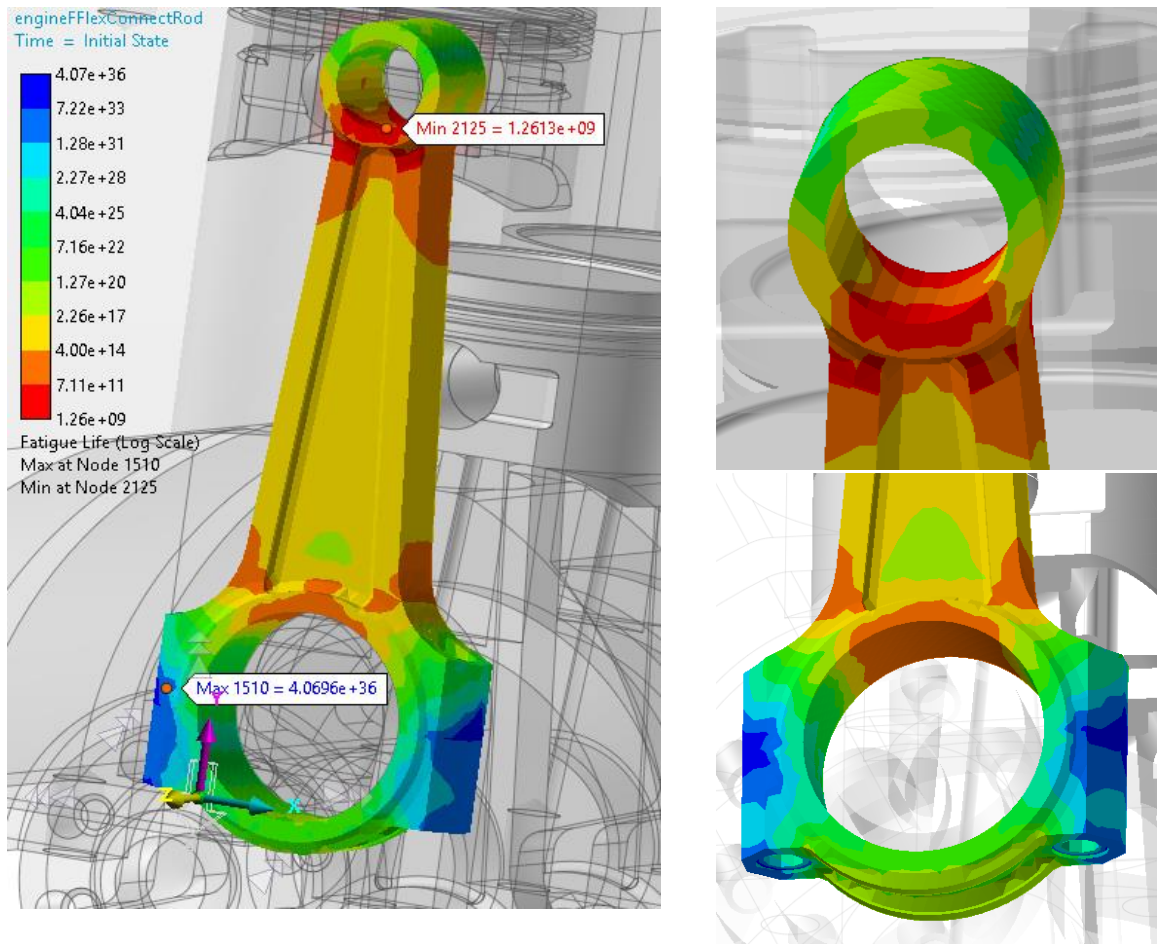
5. 单击 **OK**。

6. 单击 **View**。

结果将会显示在屏幕上，如下一页所示。



结果会显示如下。疲劳寿命最短的区域显示为红色，出现在活塞依附的洞的底部边缘。最短的寿命是 1.2613×10^9 个周期。如果发动机在这样的条件下每天运行一个小时， $(90,000 (= (1/0.04) \times 3600)$ 周期每小时，3000rpm)，换算为约 43.195 年的部件寿命。



这个失效位置与运行中实际出现的部件失效一致。一旦表面出现了微小的裂缝，就会迅速恶化成下图所示的状况。



保证选择足够的帧数

如前文所述，只有选择动态分析中的大部分动画帧才能得到最精确的疲劳分析结果。此外，还有一种途径可以检测所选帧捕捉到的行为是否足够运行疲劳分析，那就是运行数次疲劳分析，每次都增加所选动画帧的数量，直到疲劳分析结果不变。

例如在发动机模型中，下表显示了选择不同帧数所得到的结果。361 与 721 的最短寿命结果差异几乎相同，所以 History_361 可以被认为是准确的结果。

等值线图的疲劳寿命结果 (% 与 721 帧结果的差异)			
帧数	181	361	721
时间历程	History_181	History_361	History_721
最短寿命	1.03E+09 (6.9%)	9.64E+08 (0%)	1.26125E+09

感谢学习本教程！