疲劳耐久性仿真

UM 软件入门系列教程

（05）

四川同算科技有限公司 译

2021 年 3 月

前言

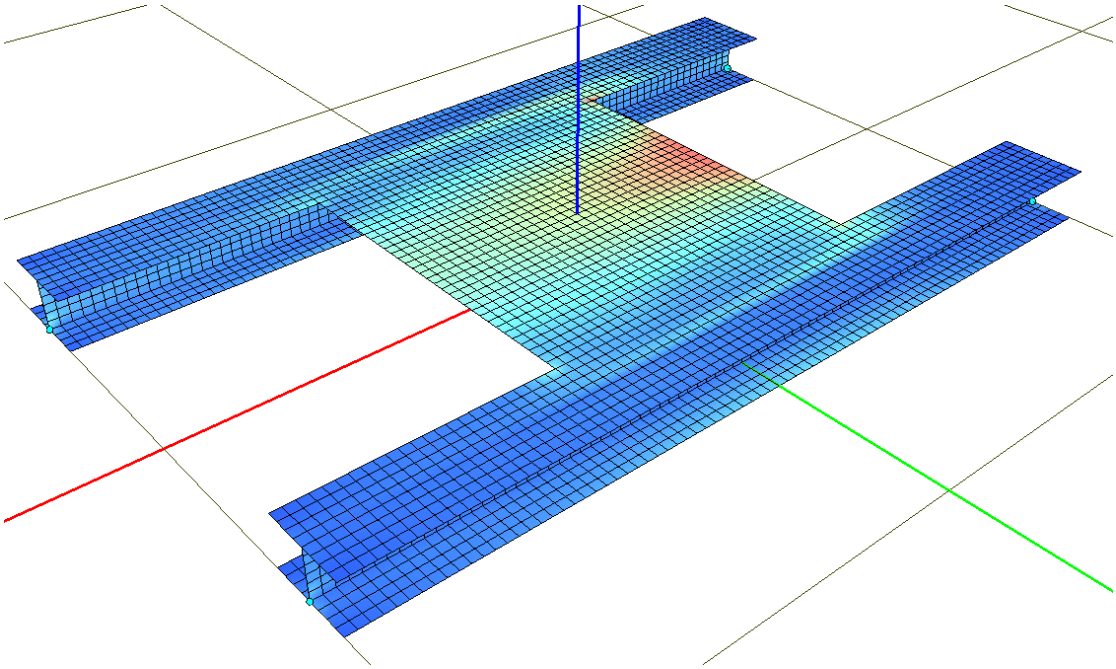
本教程介绍使用**UM Durability**模块进行构件疲劳耐久性仿真的基本方法和流程。

请读者在学习本课程之前务必先学习两个基础课程。其一为《**UM软件入门系列教程01：多体系统动力学仿真**》，熟悉**UM**软件的基本操作，如：新建模型，创建几何图形、刚体、铰和力元。其二为《**UM软件入门系列教程04：刚柔耦合动力学仿真**》，熟悉导入外部弹性体的方法及多刚体系统与柔性体耦合的实现过程。

在本课程中，我们将通过一个简单的电机振动平台例子介绍UM软件里应力载荷谱和疲劳耐久性分析的一般流程和步骤。

我们将直接运行一个准备好的模型，进行动力学计算，然后将结果用于应力载荷谱分析和疲劳寿命预测，在预测疲劳寿命时采用经典的S-N曲线方法。

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



版权和商标

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

联系方式

最新版的UM软件和相应的用户手册下载地址：

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

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

在使用过程中，读者如有任何报错、疑问和建议，请发送邮件至：

um@universalmechanism.com

UM总部

Computational Mechanics Ltd.

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

Phone, fax: +7 4832 568637

www.universalmechanism.com www.umlab.ru

UM中国

四川同算科技有限公司

四川省眉山市彭山区蔡山西路 2 号伟业广场 1911 室

办公电话：028-38520556

公司网站：www.tongsuan.cn

电子邮件：um@tongsuan.cn

微信公众号　　QQ 交流群

目 录

1. 模块功能简介

UM Durability 模块是专业的疲劳耐久性 CAE 分析工具，它基于 **UM FEM** 刚柔耦合动力学计算的结果进行应力载荷谱分析和疲劳寿命预测。其中，柔性体通过外部有限元软件导入（目前支持 **ANSYS** 和 **MSC.NASTRAN**），刚柔耦合系统的动力学计算和疲劳后处理都在 **UM** 软件里完成。

首先，采用模态综合法将构件的柔性特性（包括模态振型和应力张量）从有限元软件导入 **UM**，构成所需的刚柔耦合动力系统。其次，在 **UM** 里设置好一个或多个仿真工况，计算得到一系列有限元节点的应力时程数据。最后，根据材料的疲劳强度特性进行疲劳寿命预测。

疲劳耐久性分析有如下三个关键输入：

- 应力载荷数据：节点应力时程；
- 材料数据：材料在不同应力水平的循环载荷作用下的反应；
- 疲劳耐久性分析方法。

由于从有限元软件导入 **UM** 的柔性体模型包含完整的单元和节点信息，根据模态综合法理论可以直接求得节点在任意时刻的位移和应力。只要选取足够的、合理的有限阶模态，就能快速地获得比较精确的响应。

在计算柔性体的弹性变形时采用模态叠加的方法，即可以通过一组模态振型的线性组合得到最终结果。显然，只需要乘以适当的系数，就能将这种方法拓展到应力的计算。这种系数，又称模态坐标，可以用来表征柔性体的瞬时应力状态。试想，在动力学计算的每一步，对每一个有限元节点都执行模态叠加计算，那么就可以获得整个时间历程上的节点位移和应力曲线。

使用 **UM FEM** 模块进行动力学计算时可以自动保存所有的模态坐标时程。**UM Durability** 利用模态坐标时程数据和完整的节点信息（模态文件），可以快速获得每个节点的应力时程。然后，采用雨流计数法统计应力循环次数，最后根据 **S-N** 曲线等方法评估寿命。

仿真流程如图 1.1 所示。

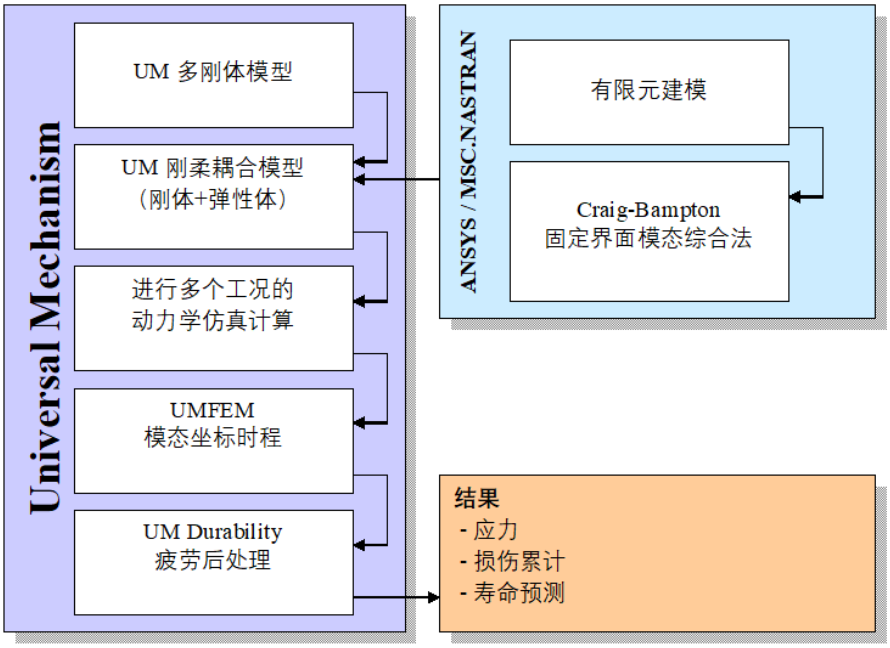


图 1.1 仿真流程

2. 柔性平台模型

教程《**UM 软件入门教程：刚柔耦合动力学仿真**》详细介绍了使用 UM 软件建立刚柔耦合系统模型的基本方法和步骤，这里不再赘述。

请读者从本地目录找到本例疲劳耐久性分析的动力学模型**{UM Data}\SAMPLES\Durability\Vibrostand**。

备注：本例中的有限元模型与前述刚柔耦合分析模型略有不同，由于网格尺寸不同，因此单元和节点数目不同。

2.1 模型简介

研究对象是一个置放电机的柔性平台，如图 2.1 所示。研究目标是柔性平台的应力、应力幅和疲劳寿命。

柔性平台模型包含 4749 个节点，4544 个壳单元，在有限元软件里选取 4 个界面节点，提取 24 阶静模态和 10 阶固有模态，经正则转换剔除 6 阶刚体模态后，得到 28 阶自由模态，导入 UM 软件中，通过弹簧和阻尼器力元将平台与地面、平台与电机连接起来。

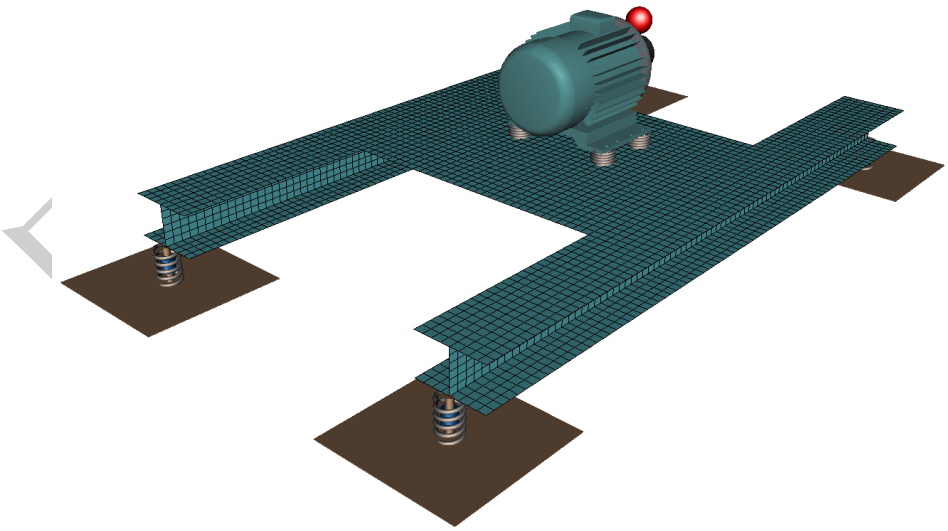


图 2.1 电机-柔性平台模型

2.2 工作流程

由图 1.1 所知，我们需要利用准备好的刚柔耦合模型进行多个工况的动力学仿真计算，并储存相应数据用于之后的应力载荷谱分析和疲劳寿命预测。

2.3 动力学计算

运行 **UM Simulation** 仿真程序，加载**{UM Data}\SAMPLES\Durability\Vibrostand** 模型。

备注：如果模型不能正常打开，请尝试从**{UM Data}\SAMPLES\Flex\Vibrostand** 目录下复制 **input.dat** 文件至**{UM Data}\SAMPLES\Durability\Vibrostand** 目录，替换原有文件。

该模型已经定义好了电机工作的三个状态：加速、稳定工作和制动，电机转子角速度时程曲线如图 2.2 所示，工况参数见表 2-1。

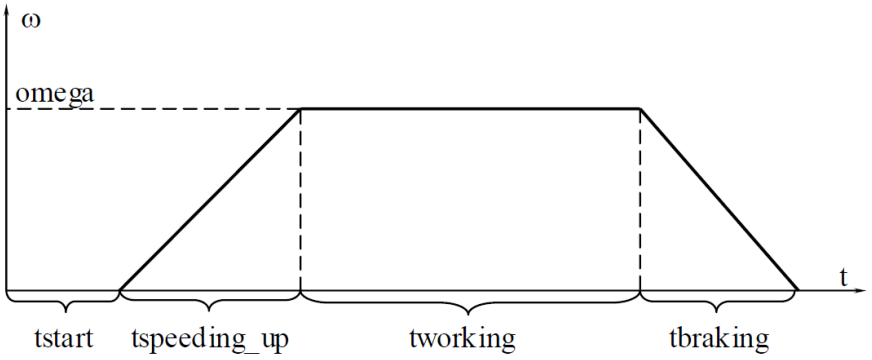


图 2.2 转子角速度

表 2-1 模型参数

参数符号	备注	参数值
nu	电机转子的额定转速（r.p.m）	1620
omega	电机转子的额定角速度（rad/s）	169.6
tstart	启动时间（s）	0.5
tspeeding_up	加速时间（s）	2
tworking	稳定工作时间（s）	3
tbraking	制动时间（s）	4

下面，我们进行一个指定工况的动力学计算。

1. 选择菜单**File | Load configuration**，读取已经配置好的工况参数文件**Vibrostand-configuration.icf**。
2. 点击，打开仿真控制界面。
3. 在**Solver**页面，勾选**Computation of Jacobian**。

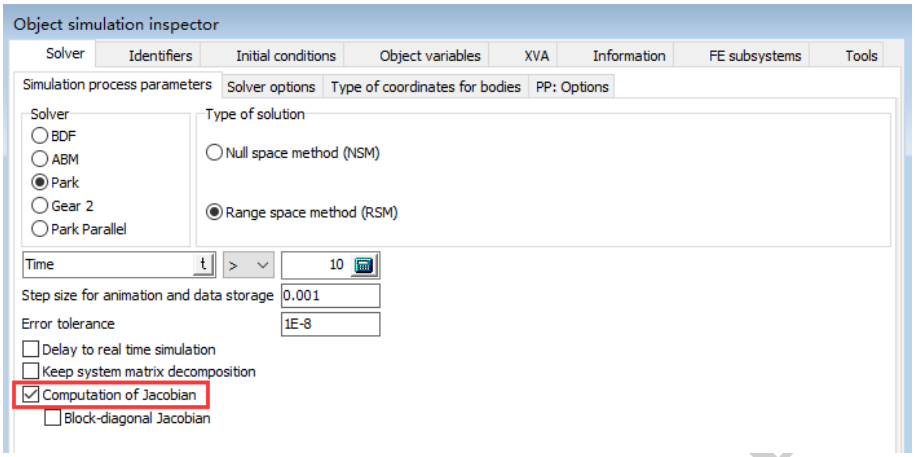


图 2.3

4. 切换到**Identifiers**页面，从**List of identifiers**下拉菜单中选择**Electricmotor**电机子系统，按图 2.5检查参数值，如不同，请修改。

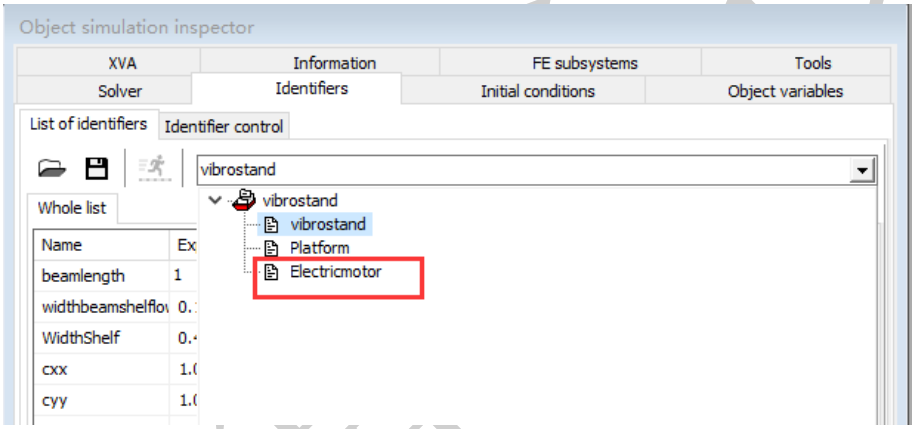


图 2.4

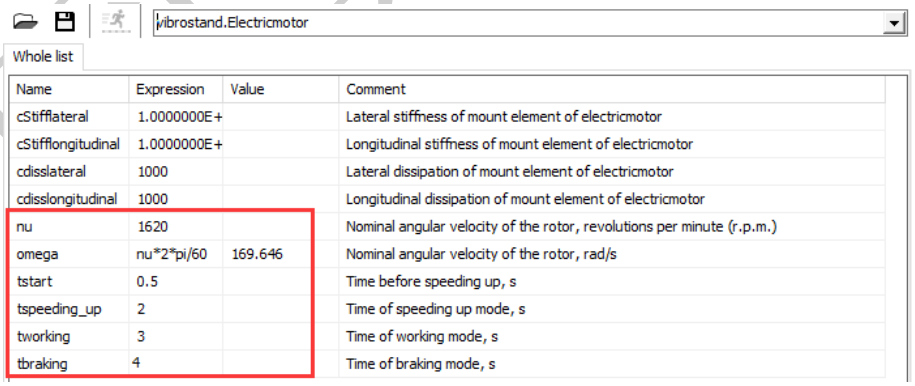


图 2.5

5. 选择页面**FEM subsystems | Simulation | Options**，勾选**Store values of modal coordinates**，并设置保存类型为**File**，缺省以柔性子系统的名字命名并存放于模型目录，如图 2.6所示。

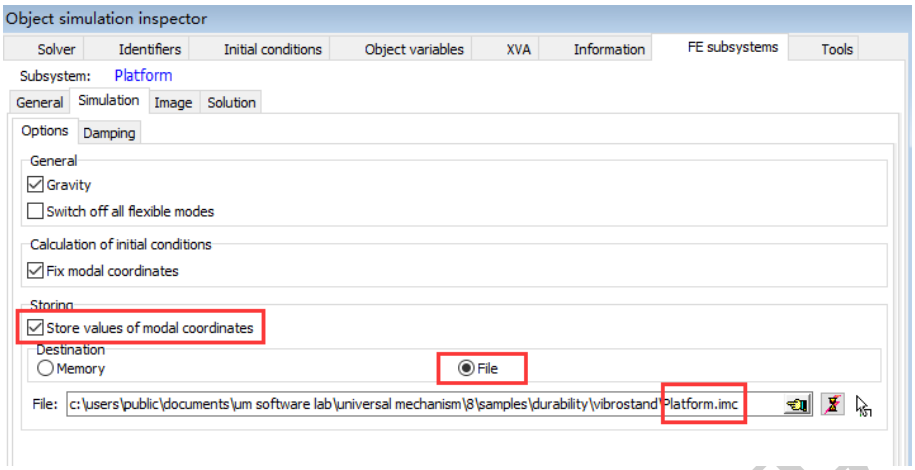


图 2.6

6. 在**FEM subsystems | Simulation | Damping**页面，设置结构阻尼，如图2.7所示。

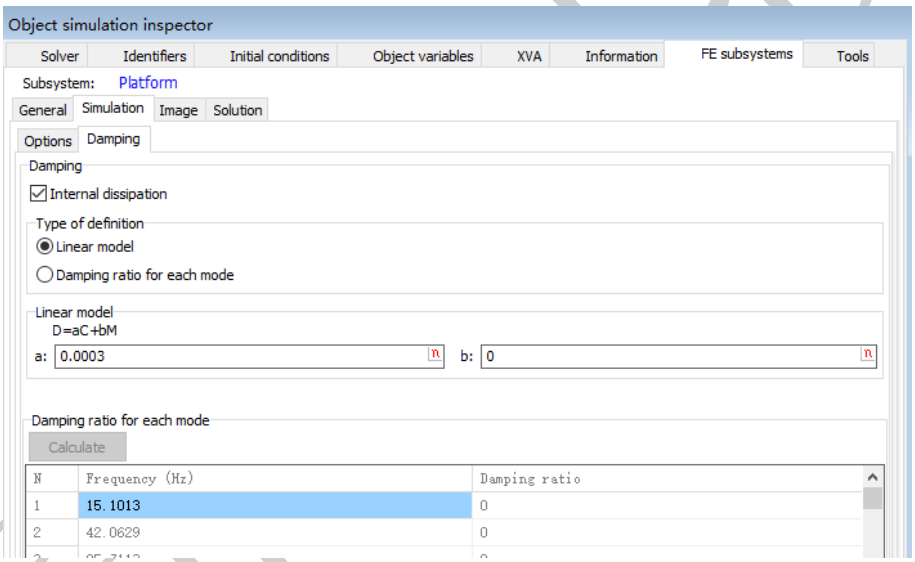


图 2.7

7. 切换到**Solver**页面，点击**Integration**，执行计算，计算过程中会自动生成两个文件（**Platform.imc**和**Platform.tmc**），并存放于模型目录。
8. 待计算完毕，点击**确定 | Interrupt**，当提示是否覆盖原有模态坐标文件时，选择**是(Y)**。

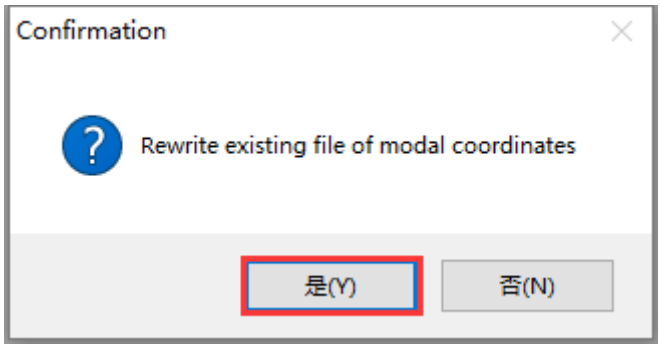


图 2.8

9. 最后，点击**Close**，关闭仿真控制界面。

备注：请勿关闭模型，否则进行疲劳耐久性分析时需要手动指定柔性体文件。

2.4 应力载荷谱分析

选择主菜单 **Tools | Durability wizard**，打开应力载荷谱和疲劳耐久性分析向导界面，如图 2.9 所示。

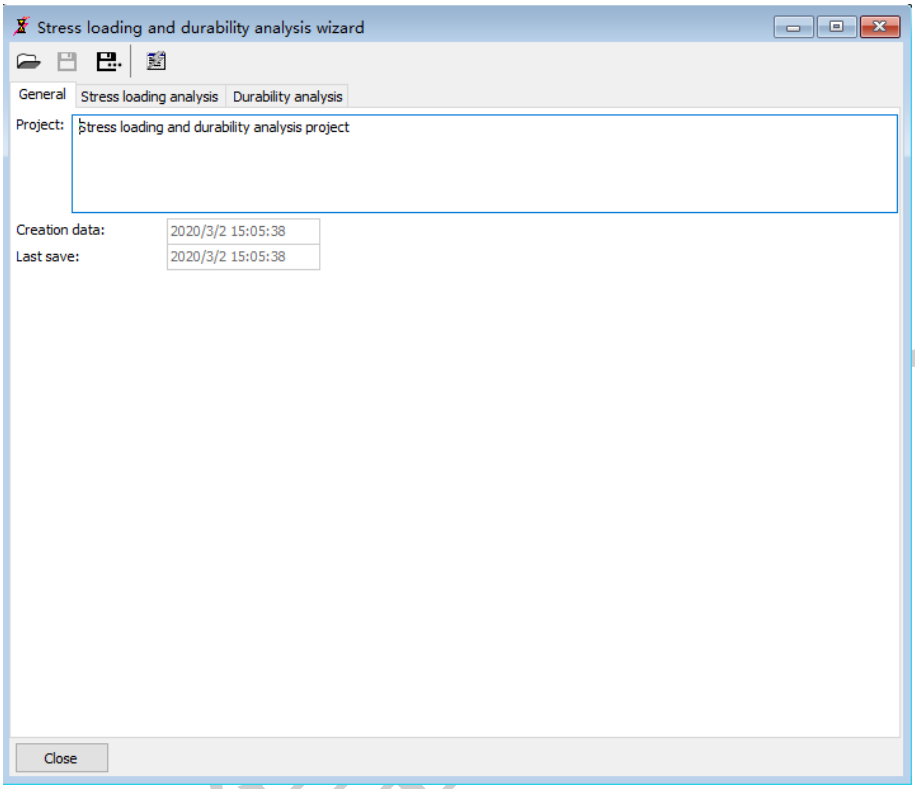


图 2.9

2.4.1 载荷工况描述

加载模态坐标时程

本例电机的三种工作状态，可以从先前的一次仿真结果中提取出来。

1. 定位到**Stress loading analysis | Source data | Loading regimes**页面。
2. 点击 ✚ 按钮，加载模型目录下的柔性平台模态坐标时程头文件 **Platform.tmc**，并重复两次操作，结果如图 2.11所示。

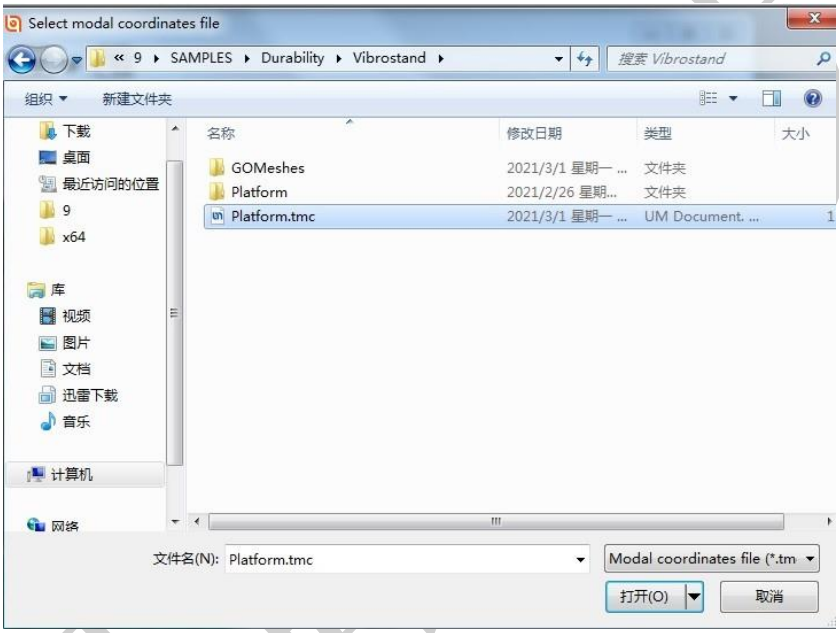


图 2.10

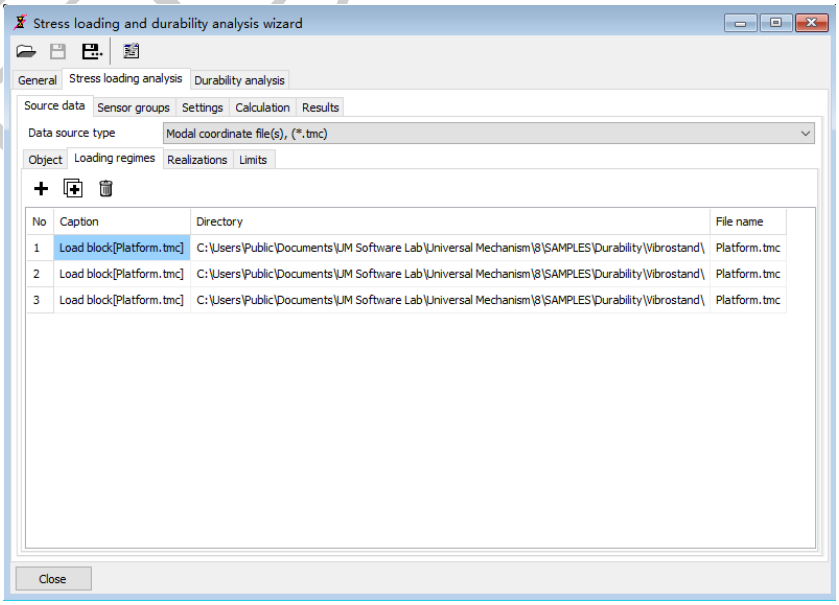


图 2.11

设置工况区间

在当前页面，点击**右键**，选择 **Load values from file**，可以从已有文件读取工况名称（位于模型下的 LoadCasesCaptions.lcc），也可以在 **Caption** 一列的单元格中直接修改。

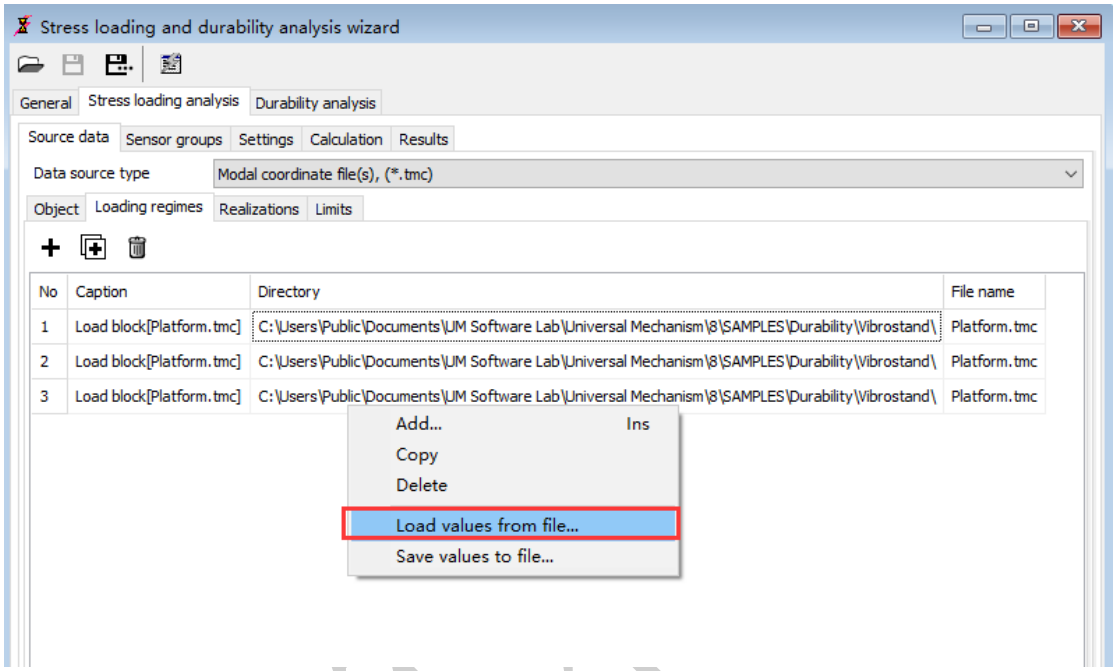


图 2.12

模型可视化

只要成功加载了一个模态坐标时程数据，就可以在 **Stress loading analysis | Source data | Object** 页面查看柔性体模型及相关数据，可设置如图 2.13 显示（Full 模式，不显示所有节点）。

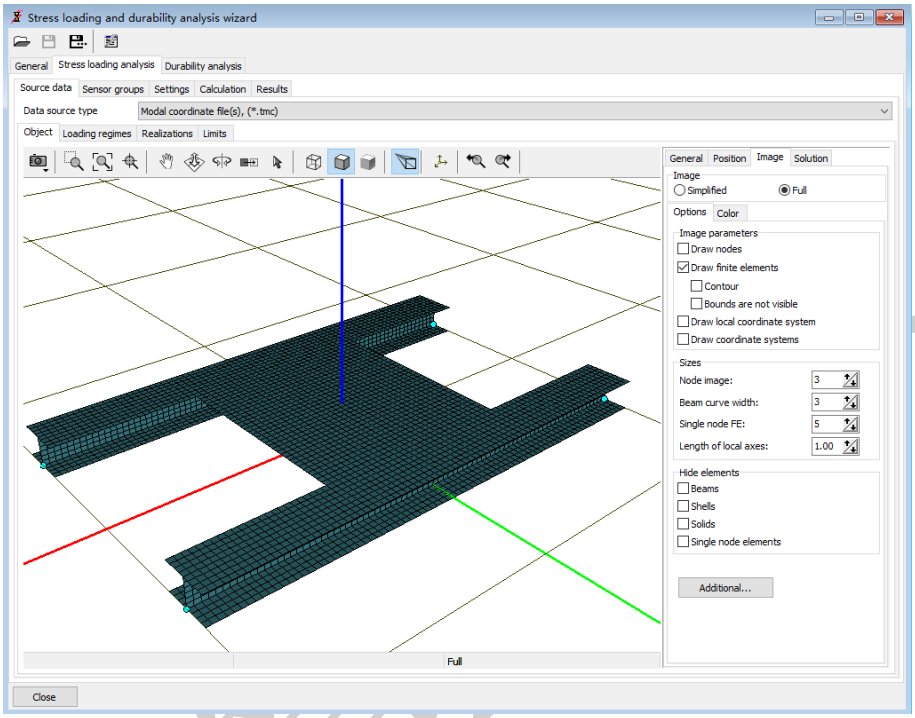


图 2.13

绘制时程曲线

我们以第 3773 号和 259 号节点为例绘制其等效应力时程曲线，如图 2.15 所示。

1. 切换到**Stress loading analysis | Source data | Realization**页面。
2. 在左侧选择**Unsigned von Mises by principle stresses**选项。
3. 在右侧**Sensor number**处输入**3773**，点击**Calculate**（或敲回车键）。
4. 打开一个绘图窗口，拖动 图标至绘图窗口然后放开，随即显示了节点**3773**的Mises等效应力时程曲线。
5. 用同样的方法，在同一个绘图窗口中显示节点**259**的Mises等效应力时程曲线。

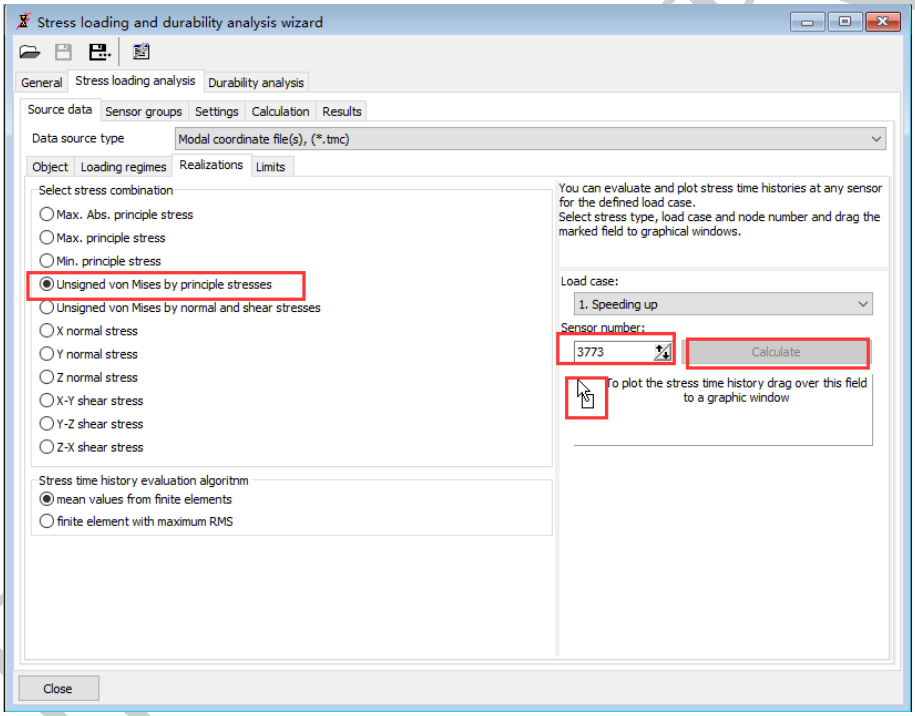


图 2.14

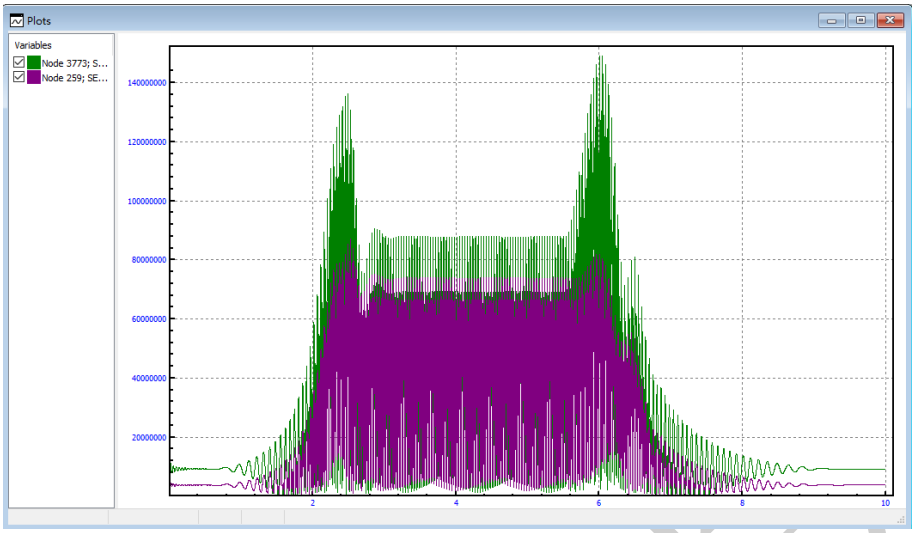


图 2.15

从图 2.15 可以清楚地看出，柔性平台节点的应力时程与先前定义的电机工作工况一致，开机 0.5s，加速过程 2s，稳定工作 3s，制动过程 4s。

定义工况的时间区间

切换到 **Stress loading analysis | Source data | Limits** 页面，通过右键菜单 **Load values from file** 选择三个工况的时间区间配置文件 **Time intervals.int**(位于模型目录)，也可以在每个单元格手动输入数值，最终如图 2.18 所示。

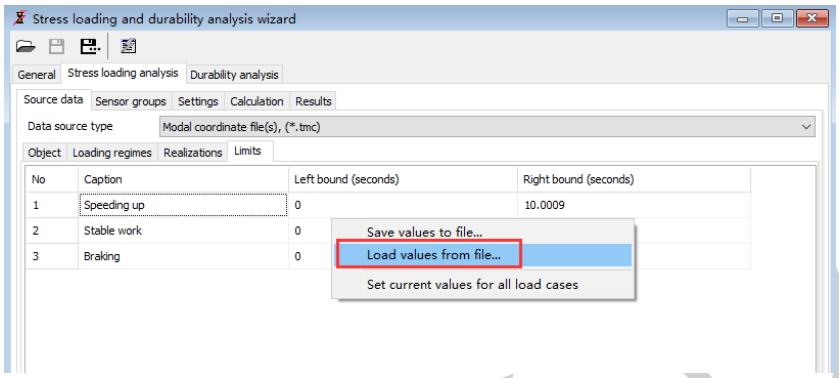


图 2.16

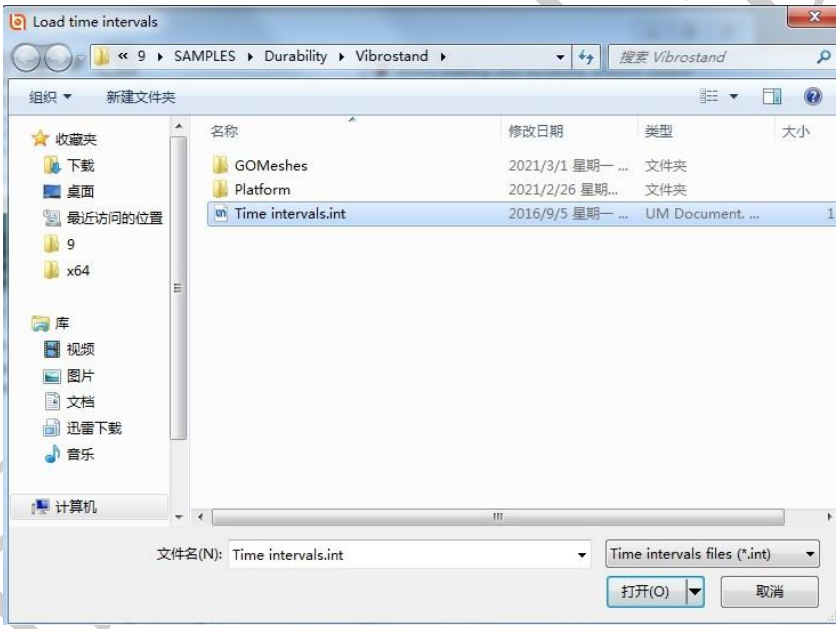


图 2.17

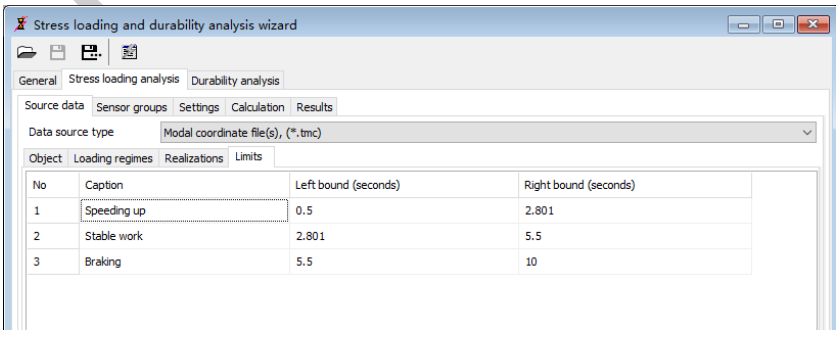


图 2.18

2.4.2 初始化 Sensor 节点组

本例模型的有限元单元数目并不算多，因此可选取所有的节点来进行应力载荷谱分析（全部作为 Sensor）。

1. 定位到**Stress loading analysis | Sensor groups**页面，缺省选取了所有的有限元节点，如图 2.19所示。

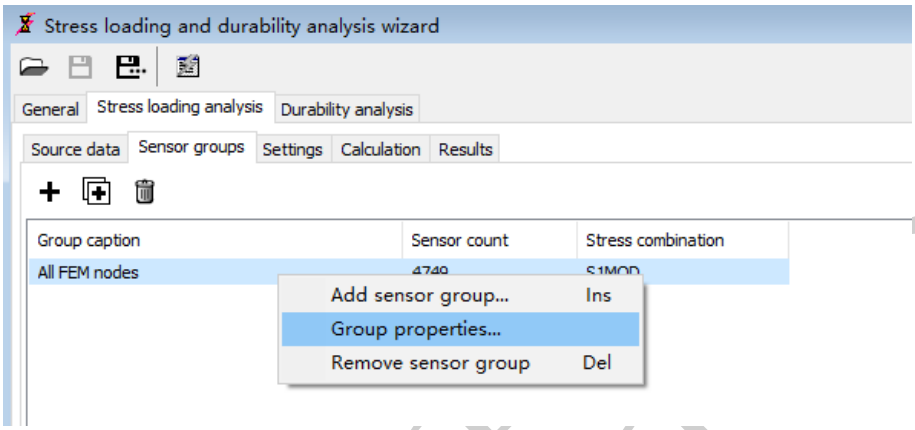


图 2.19

2. 选中**All FEM nodes**，点**右键**，选择**Group properties**（或直接双击All FEM nodes），弹出Sensor节点组属性窗口。
3. 在**Node list**页面，显示了所有的节点。

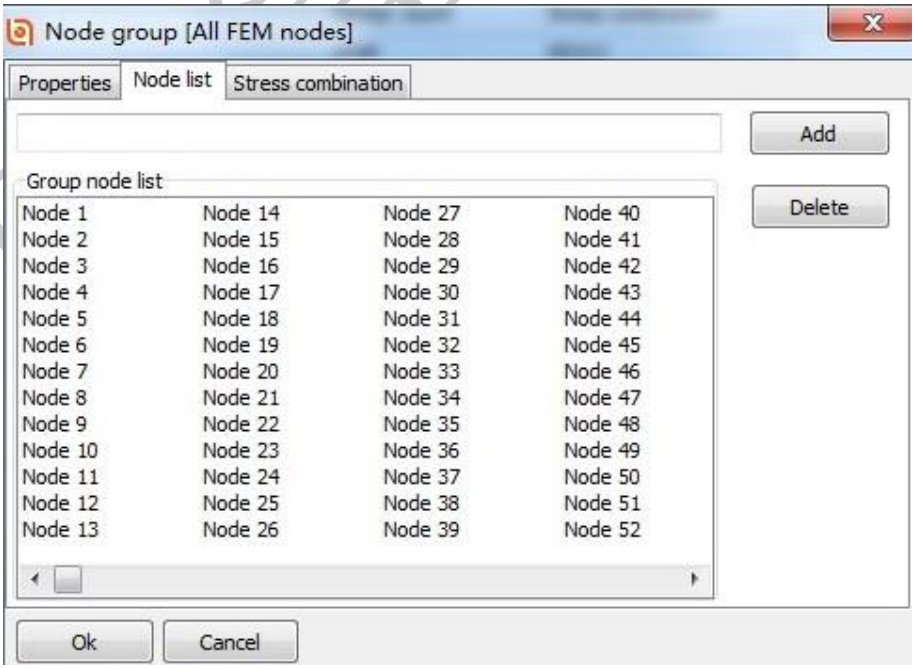


图 2.20

4. 在**Stress combination**页面，选择**Unsigned von Mises by principle stresses**。

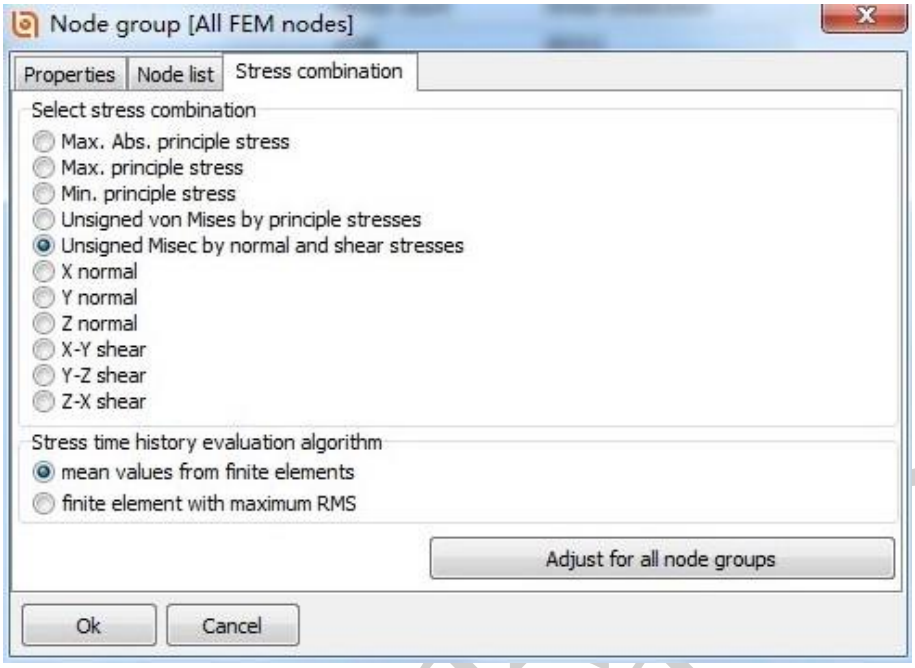


图 2.21

5. 设置**Stress time history evaluation algorithm** 为 **mean values from finite elements**。

备注：通常情况一个有限元节点同时属于多个单元，因此这个选项决定其节点应力的计算方式。

6. 点击**OK**，将以上设置应用于所有节点。

2.4.3 设置应力载荷谱评估参数

在 **Stress loading analysis | Settings** 页面，分别设置 **General** 和 **Additional** 如图 2.22 和图 2.23 所示。

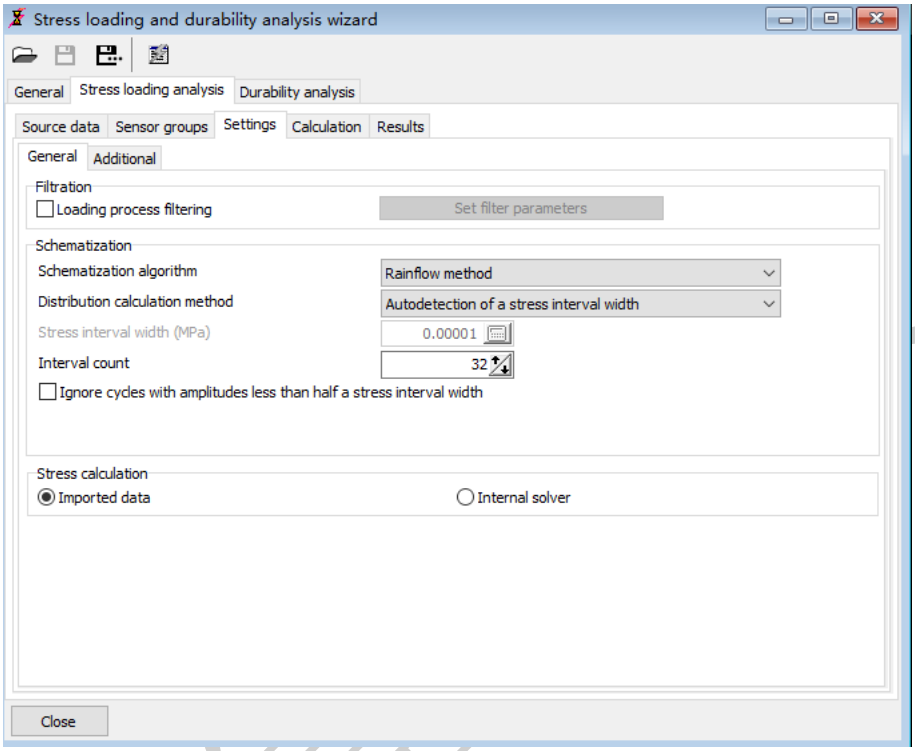


图 2.22

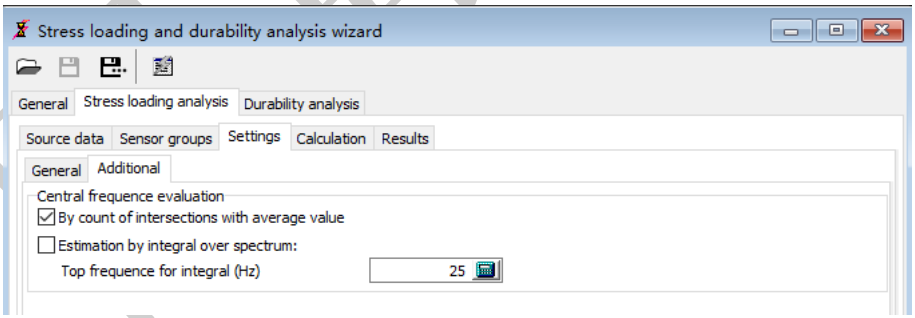


图 2.23

2.4.4 保存项目

点击按钮将分析项目保存在当前模型目录。

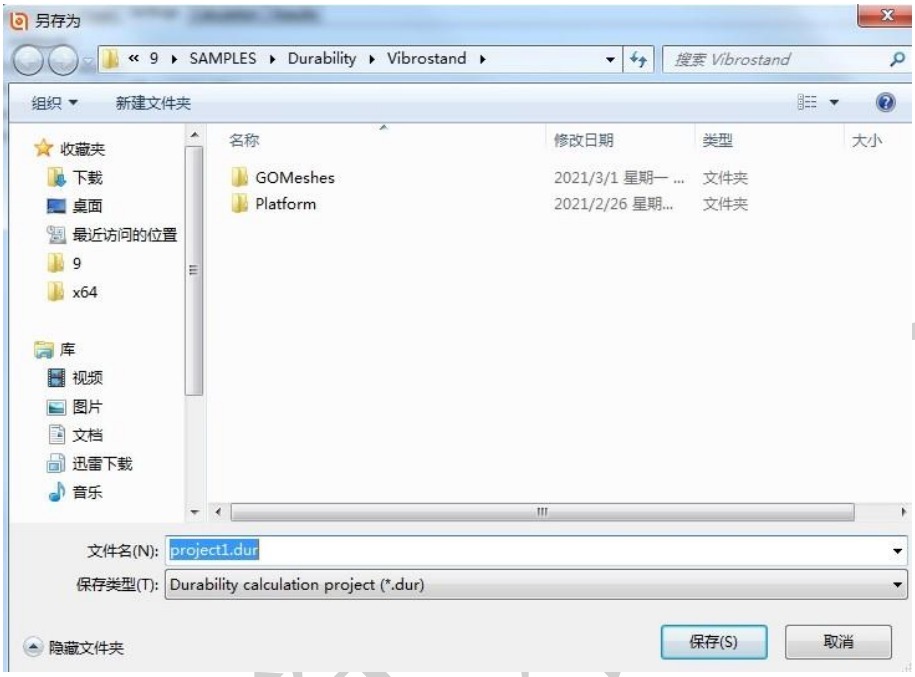


图 2.24

2.4.5 计算应力载荷时程

1. 定位到**Stress loading analysis | Calculation**页面。
2. 点击**Calculate**，开始计算。点击 ⩔ 按钮可以显示所有的工况进度，整个计算过程大约持续5-10分钟。
3. 待计算完毕，点击**确定**。

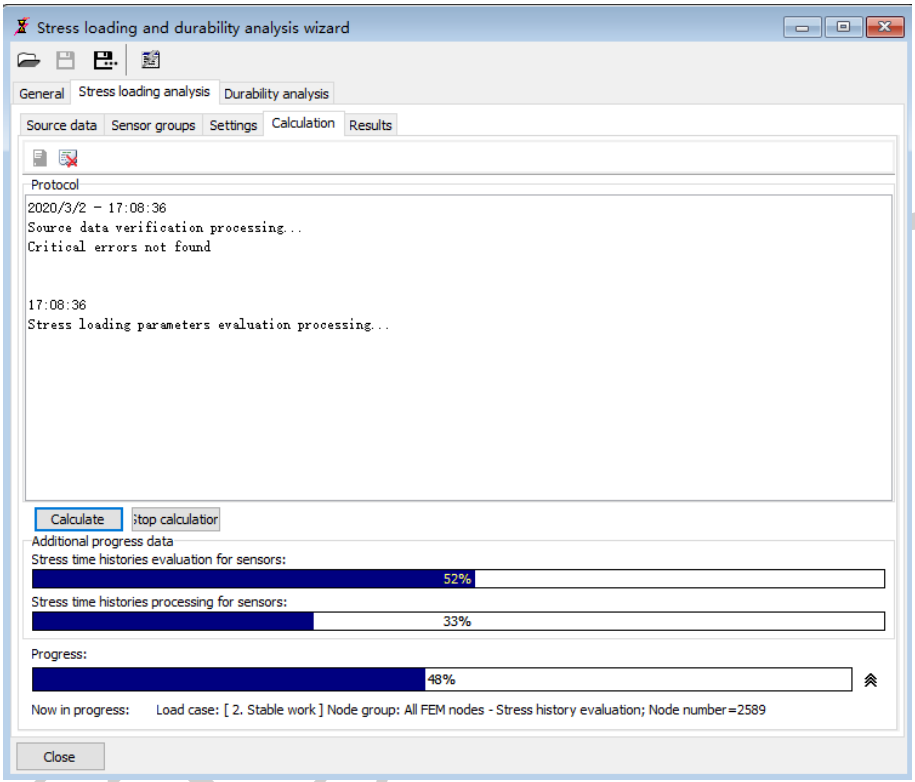
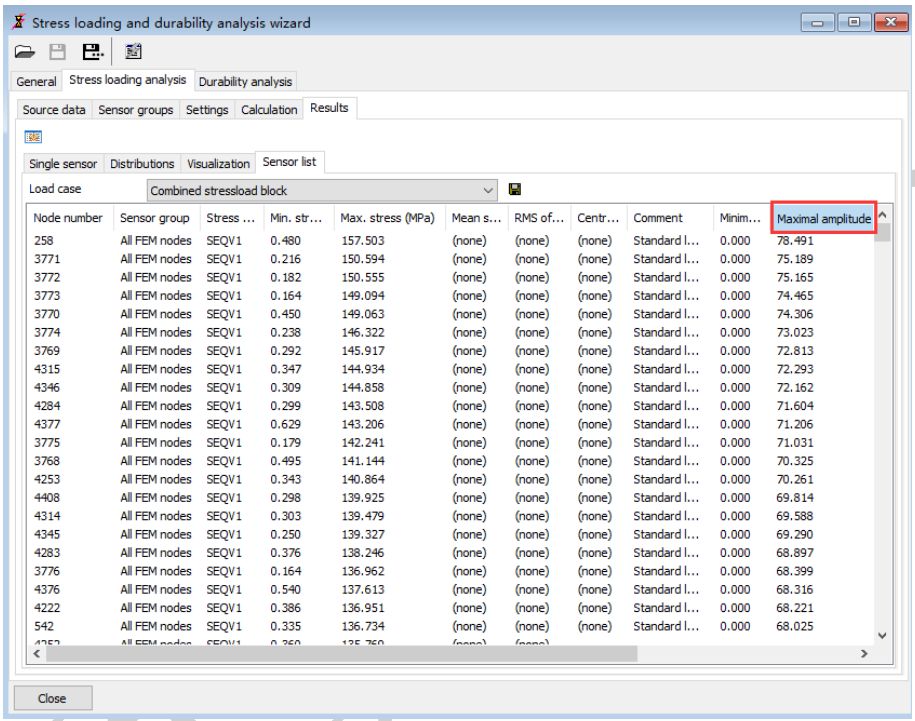


图 2.25

2.4.6 应力载荷时程分析结果

1. 定位到**Stress loading analysis | Results | Sensor list**页面。
2. 在**Load case**列表选择**Combined stressed block**（缺省即是）。
3. 点击**Maximal amplitude (MPa)**两次，使得节点以最大应力幅降序排列。

由图 2.26 可见，节点 **258**、**3771**、**3772**、**3773** 和 **3770** 具有相对较大的应力幅。



Node number	Sensor group	Stress ...	Min. str...	Max. stress (MPa)	Mean s...	RMS of...	Centr...	Comment	Minim...	Maximal amplitude
258	All FEM nodes	SEQV1	0.480	157.503	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	78.491
3771	All FEM nodes	SEQV1	0.216	150.594	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	75.189
3772	All FEM nodes	SEQV1	0.182	150.555	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	75.165
3773	All FEM nodes	SEQV1	0.164	149.094	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	74.465
3770	All FEM nodes	SEQV1	0.450	149.063	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	74.306
3774	All FEM nodes	SEQV1	0.238	146.322	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	73.023
3769	All FEM nodes	SEQV1	0.292	145.917	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	72.813
4315	All FEM nodes	SEQV1	0.347	144.934	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	72.293
4346	All FEM nodes	SEQV1	0.309	144.858	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	72.162
4284	All FEM nodes	SEQV1	0.299	143.508	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	71.604
4377	All FEM nodes	SEQV1	0.629	143.206	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	71.206
3775	All FEM nodes	SEQV1	0.179	142.241	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	71.031
3768	All FEM nodes	SEQV1	0.495	141.144	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	70.325
4253	All FEM nodes	SEQV1	0.343	140.864	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	70.261
4408	All FEM nodes	SEQV1	0.298	139.925	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	69.814
4314	All FEM nodes	SEQV1	0.303	139.479	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	69.588
4345	All FEM nodes	SEQV1	0.250	139.327	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	69.290
4283	All FEM nodes	SEQV1	0.376	138.246	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	68.897
3776	All FEM nodes	SEQV1	0.164	136.962	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	68.399
4376	All FEM nodes	SEQV1	0.540	137.613	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	68.316
4222	All FEM nodes	SEQV1	0.386	136.951	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	68.221
542	All FEM nodes	SEQV1	0.335	136.734	(none)	(none)	(none)	Standard l...	0.000	68.025

图 2.26

4. 重复以上三步，依次找到三个工况的最大应力幅的主要节点。
   Speeding up：258、3770、3771、3769、3772
   Stable work：258、542、3769、3768、3770
   Braking：258、3771、3772、3773、3770
5. 定位到**Stress loading analysis | Results | Visualization**页面。
6. 选择**Load case** 为**Combined stressload block**。
7. 设置**Select data for visualization** 为**Maximal values of stress cycle amplitudes (Mpa)**，如图 2.27所示。
8. 点击**Show**，打开一个新的动画窗口，并显示综合工况下的应力幅分布云图。

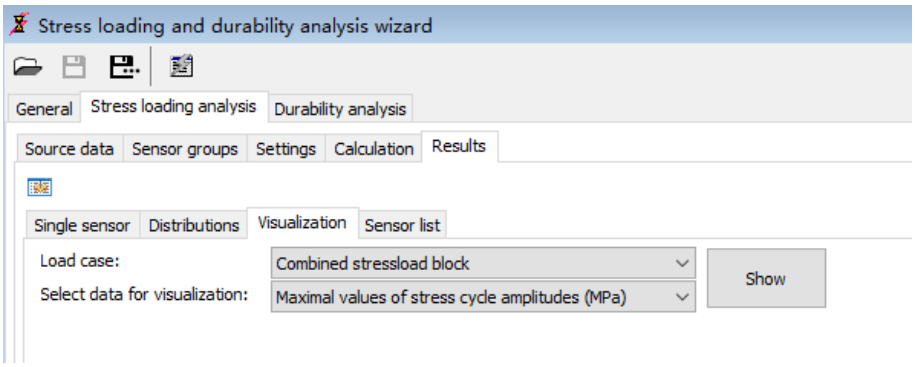


图 2.27

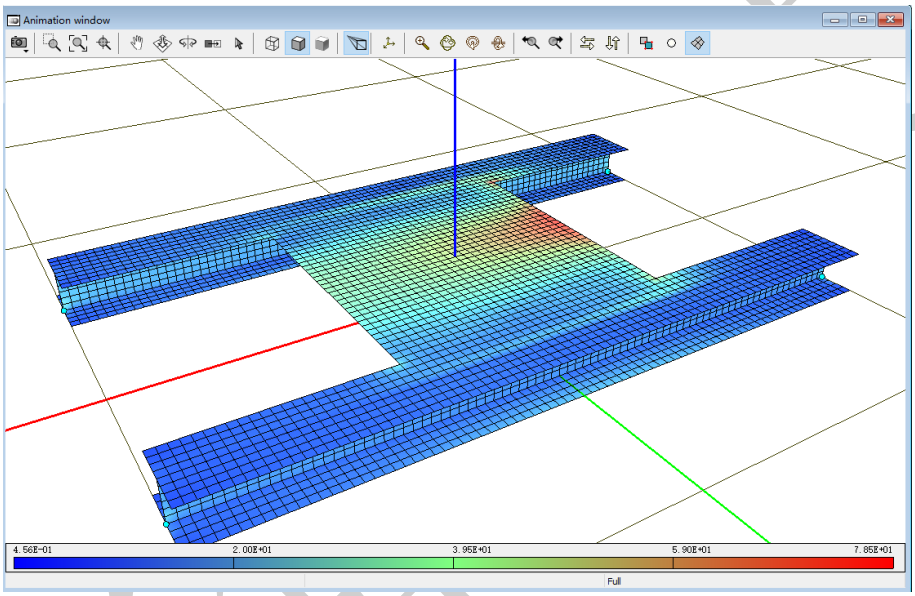


图 2.28

9. 点击动画窗口工具栏上的○图标，用于显示用户选择的节点。
10. 在动画窗口点右键，选择菜单**Select FE nodes**。
11. 在弹出窗口选择**by index**模式，在**Node number**处输入**258**，依次点击**Search**，**Add**，将其添加到右侧节点列表，并自动在动画窗口中以绿色高亮显示。

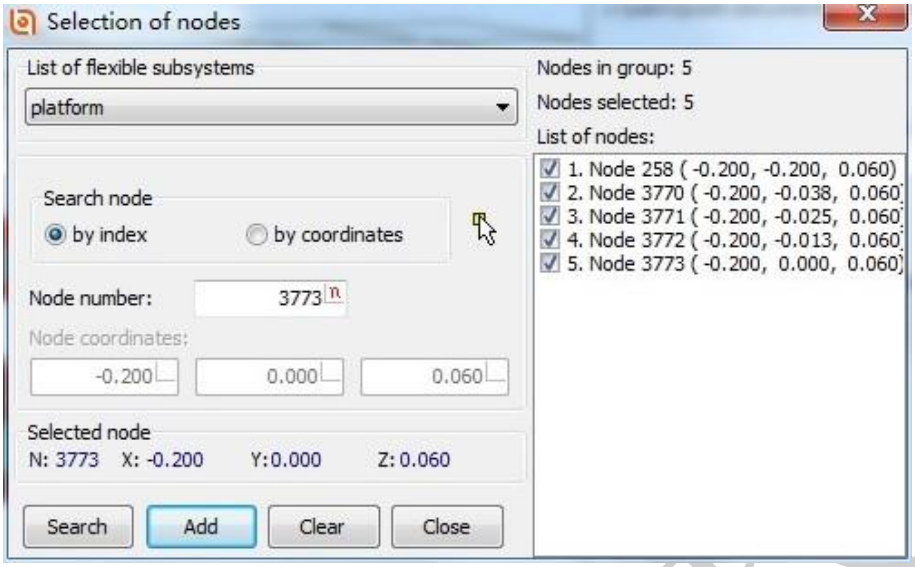


图 2.29

12. 以同样的方法添加节点**3770**、**3771**、**3772**和**3773**，如图 2.30所示。

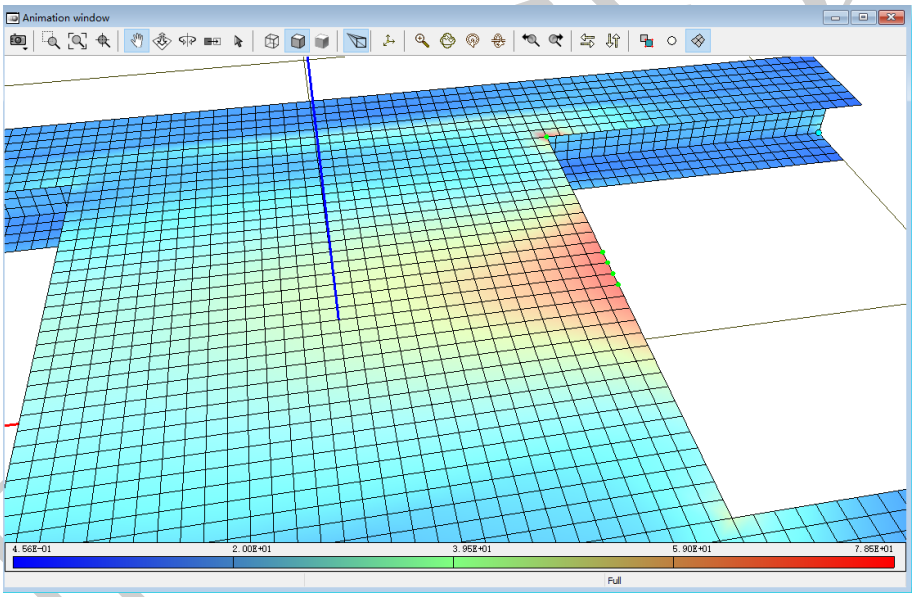


图 2.30

13. 点击**Close**关闭节点选择窗口。

备注：如果直接点击 Close 出现报错情况，请退出报错界面，先 Clear，再 Close。

14. 定位到**Stress loading analysis | Results | Single sensor**页面，设置**Node number**为**258**，如图 2.31所示。可见，最大应力幅发生在加速和制动工况。

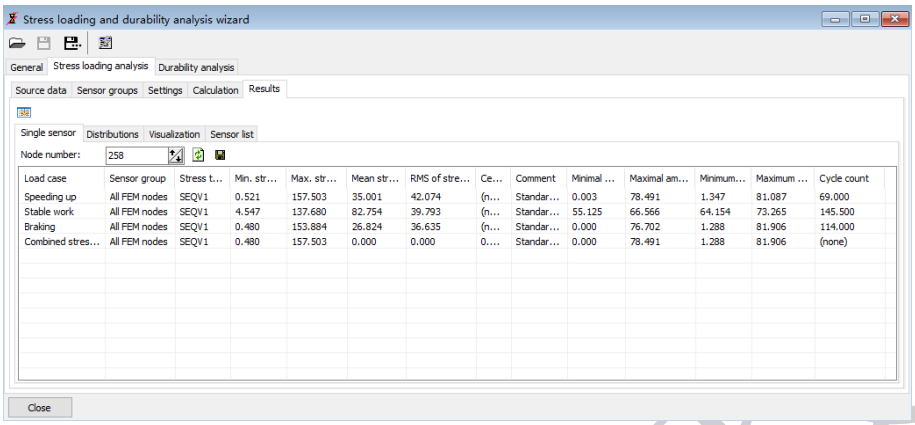


图 2.31

15. 定位到**Stress loading analysis | Results | Distributions**页面，可查看节点平均应力和应力幅的双参数分布表。

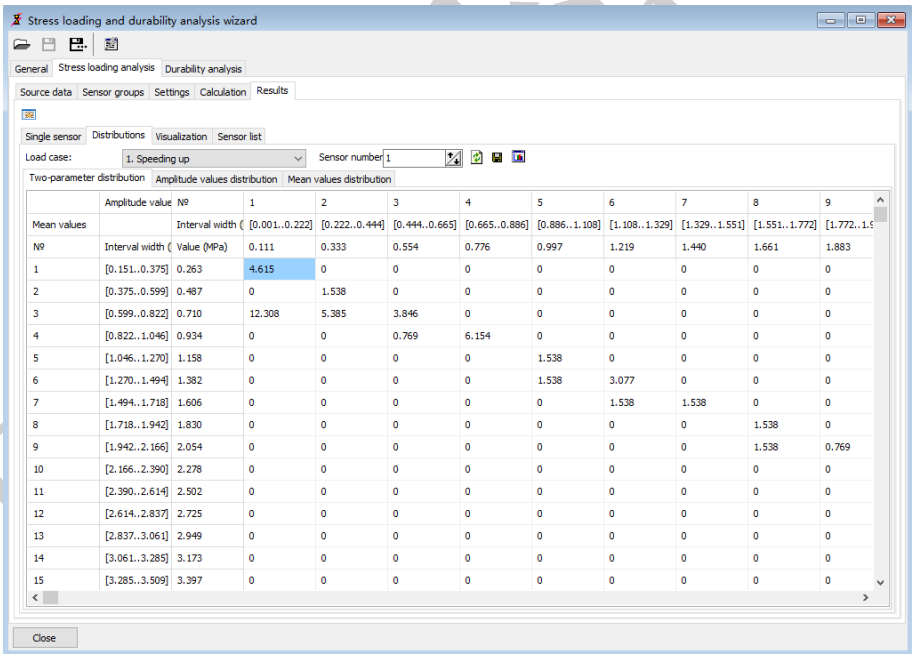


图 2.32

16. 点击按钮，可查看三维直方图。

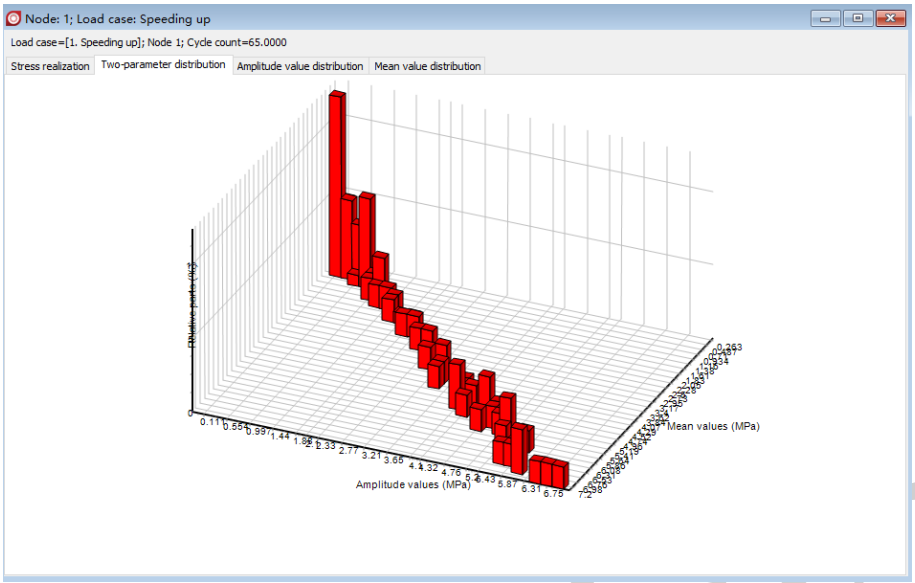


图 2.33

2.5 疲劳耐久性分析

2.5.1 设置疲劳耐久性分析方法

1. 定位到**Durability analysis | Evaluation method**页面，设置**Evaluation method**为**S-N method**，如图 2.34所示。

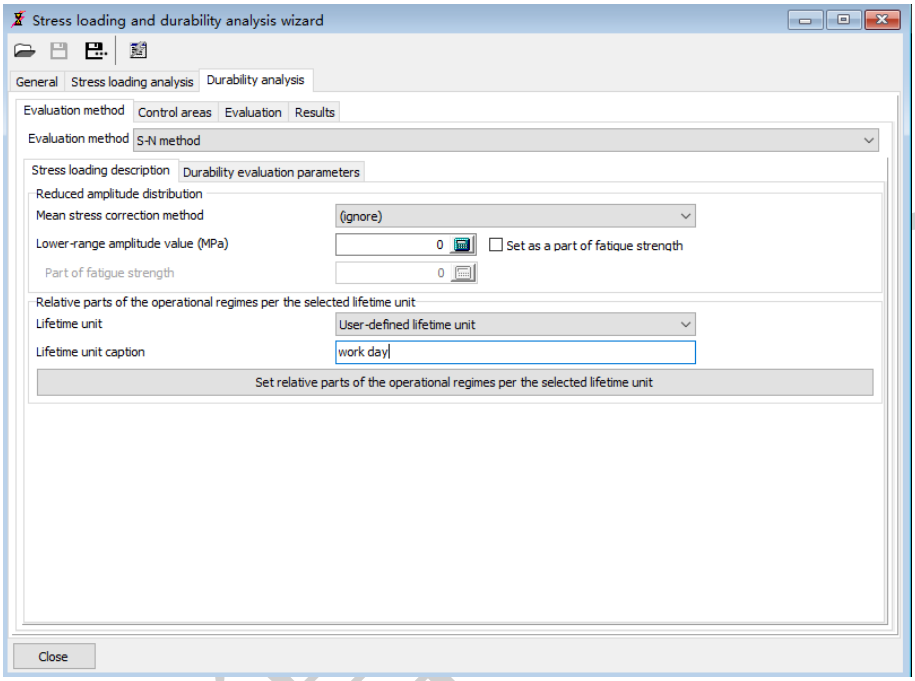


图 2.34

2. 在**Stress loading description**页面，设置**Mean stress correction method**为**ignore**，即本例忽略平均应力对疲劳损伤的贡献。
3. 设置**Lower-range amplitude value**为**0**，表示所有的载荷循环都要计入耐久性分析。
4. 设置**Life time unit**为**User-defined lifetime unit**，自定义寿命周期单位为**work day**。
5. 点击**Set relative parts of the operational regimes per the selected lifetime unit**，设置每**work day**(对应用户自定义的寿命周期单位)各个工况的重复次数。假设电机每天工作**8**小时，开关机各**1**次，因此设置**Speeding up**和**Braking**工况重复次数为**1**，**Stable work**工况重复次数为**10670**（8*60*60/2.699）。

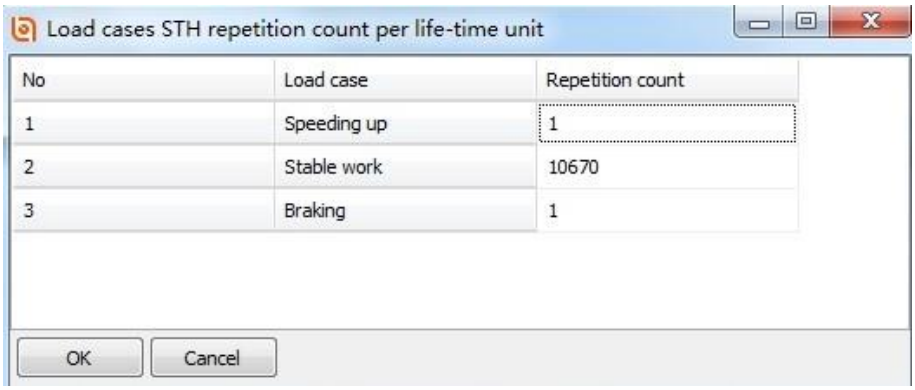


图 2.35

6. 切换到**Durability evaluation parameters**页面。
7. 设置**Probability of no-failure**为**95%**，即正常开机工作率为95%。
8. 设置**Reduction coefficient**为**310**，表示平均每年工作310天。
9. 勾选**Calculate safety factor**，设置设计使用寿命**Design life time value**为**10**年。

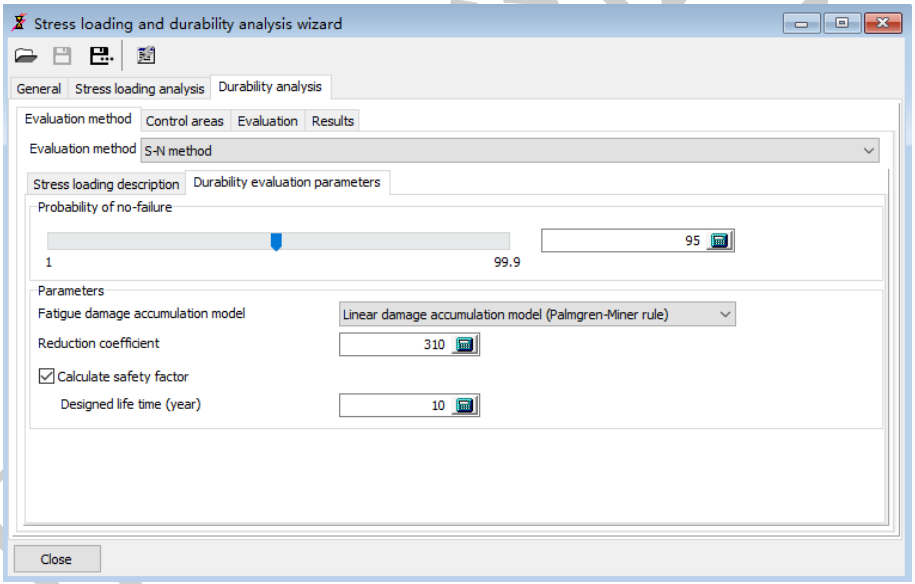


图 2.36

2.5.2 选择控制区域

我们需要根据应力载荷谱分析的结果，结合柔性平台的结构特征来选取疲劳耐久性分析的控制区域，即不必分析所有节点。

从前述结果分析可知，最大应力幅出现在 **Speeding up** 和 **Braking** 两个工况，相应的节点主要位于平台上层顶板靠近电机转子一侧边缘（**3770**，**3771**，**3772**，**3773**）。同时，顶板与支撑梁的连接部位（**258**，**542**）也有较大的应力幅，由于折角处存在应力集中，因此对疲劳寿命影响较大。

有限元分析可能很好地评估顶板主体的应力状态，但是对于连接区域则可能会有些误差。因此，对于顶板主体，可以直接采用局部弹性应力进行疲劳分析；而对于连接区域，则需要修正，即采用名义应力。

下面，我们来定义柔性平台的控制区域和材料疲劳强度特性。

1. 定位到**Durability analysis | Control areas**页面，如图 2.37所示。

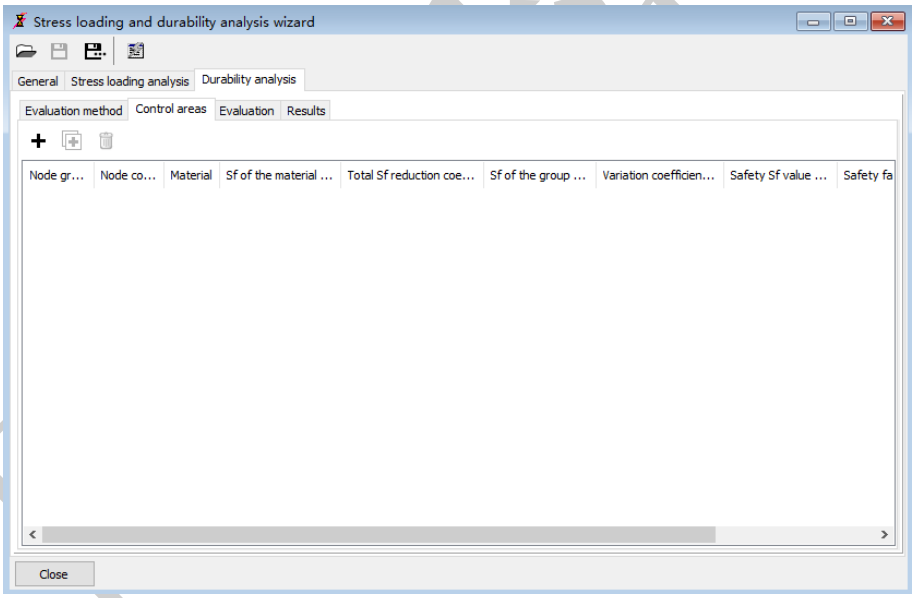


图 2.37

2. 点击✚按钮，添加一个控制区域，设置名称为**Top plate**。

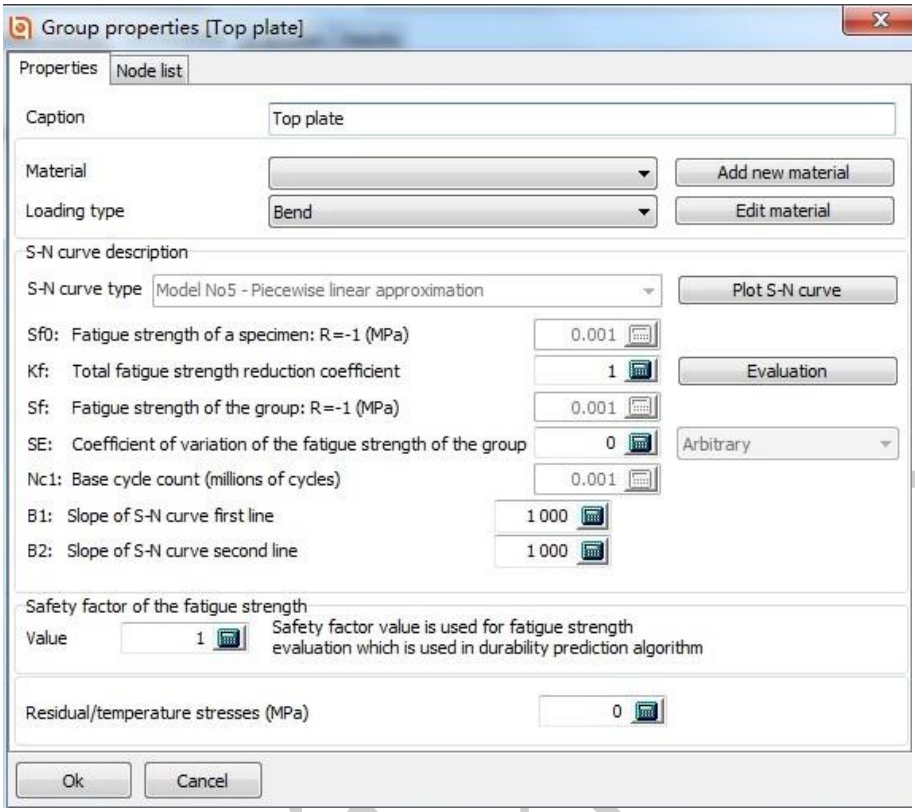


图 2.38

3. 切换到**Node list**页面。
4. 通过右键菜单**Load node list from file**载入事先准备好的节点列表（根据应力载荷分析而确定的区域）。

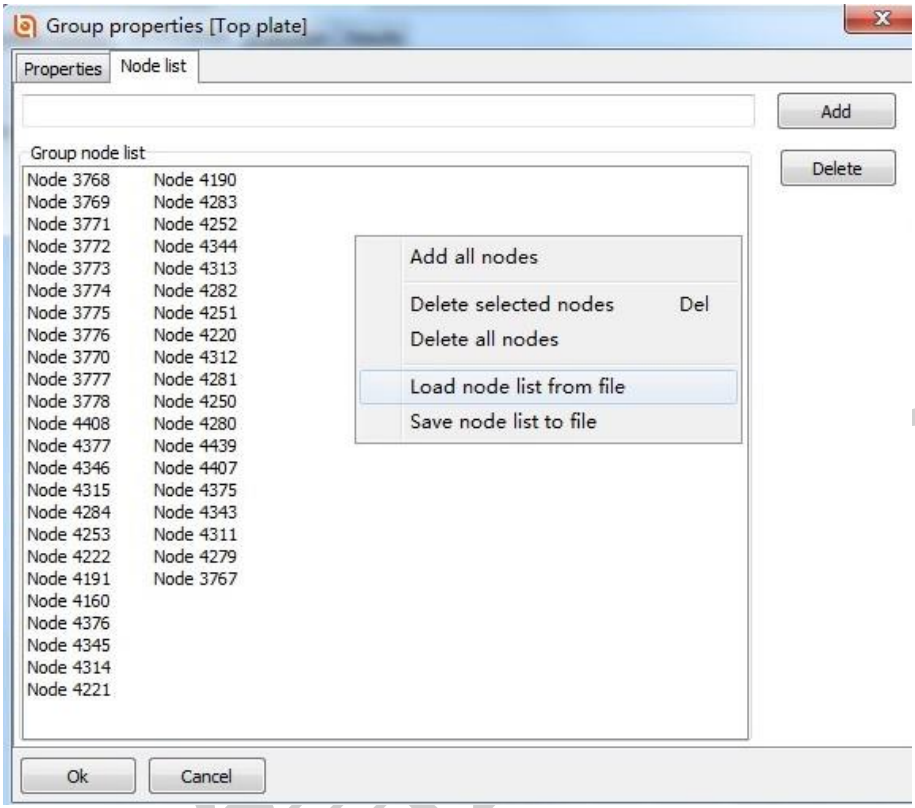


图 2.39

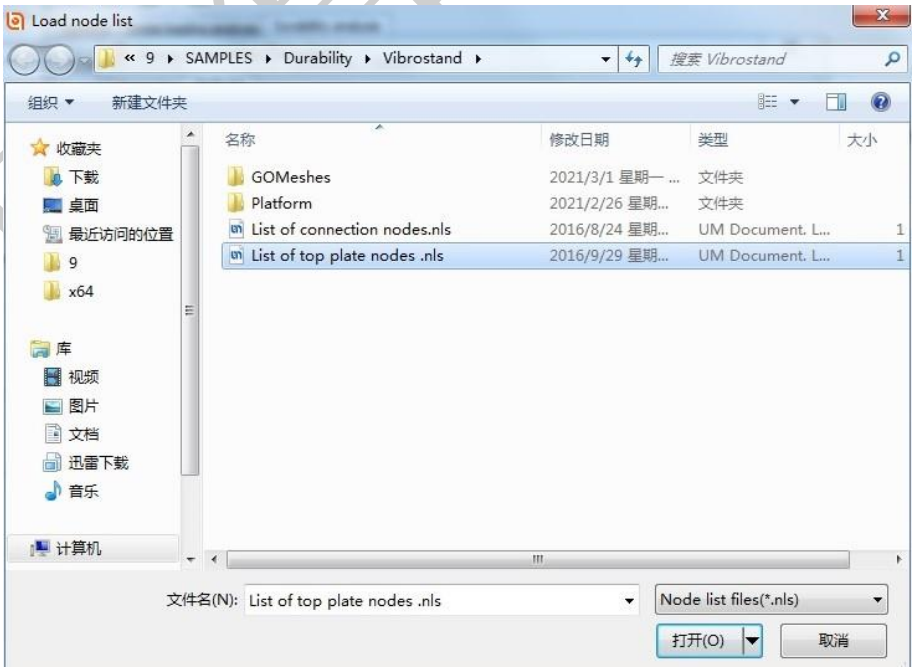


图 2.40

5. 回到**Properties**页面，点击**Add new material**按钮，根据表 2-2来定义材料参数。

表 2-2

静强度参数		
Sy	屈服强度(Mpa)	305
Su	极限强度(Mpa)	440
典型材料的疲劳强度特性		
Sf	疲劳强度(定循环载荷作用N0次数下失效概率为50%)	210
N0	基准循环数(S-N曲线拐点)	1E+007
b1	S-N曲线第一段斜率	0.125
b2	S-N曲线第二段斜率	0.020

6. 弹出材料参数窗口，切换到**Strength**页面，设置屈服强度为**305**Mpa，极限强度为**440**Mpa。

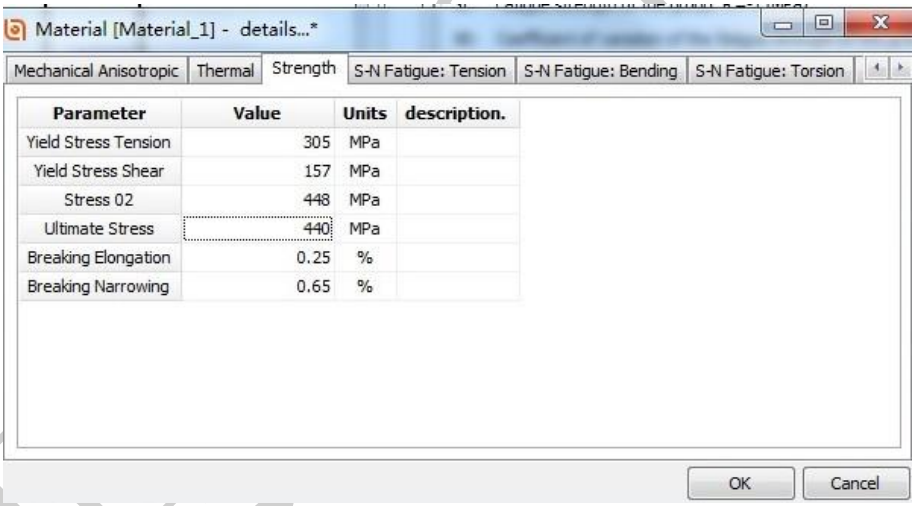


图 2.41

7. 切换到**S-N Fatigue：Bending**页面，从下拉菜单选择**Model No 5 – Piecewise linear approximation**类型的**S-N**曲线。

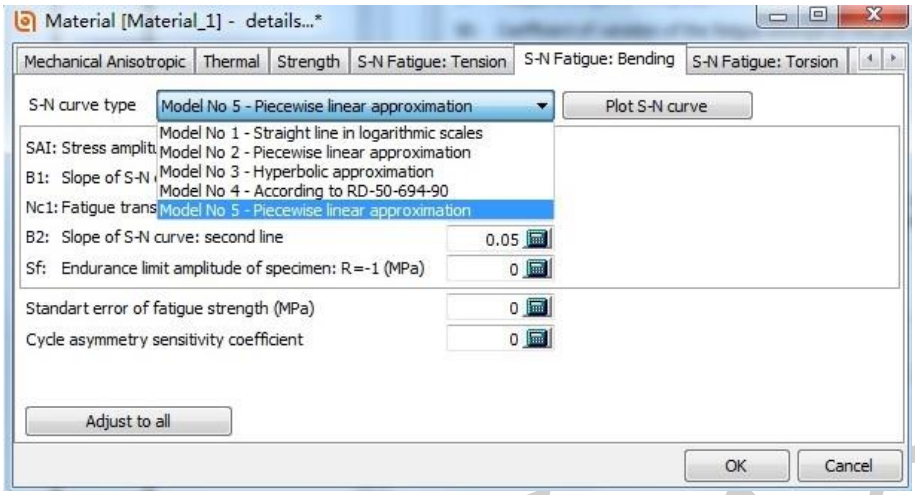


图 2.42

8. 设置S-N曲线参数如图 2.43所示（SAI=210*10e7^0.125=1574.7778Mpa）。

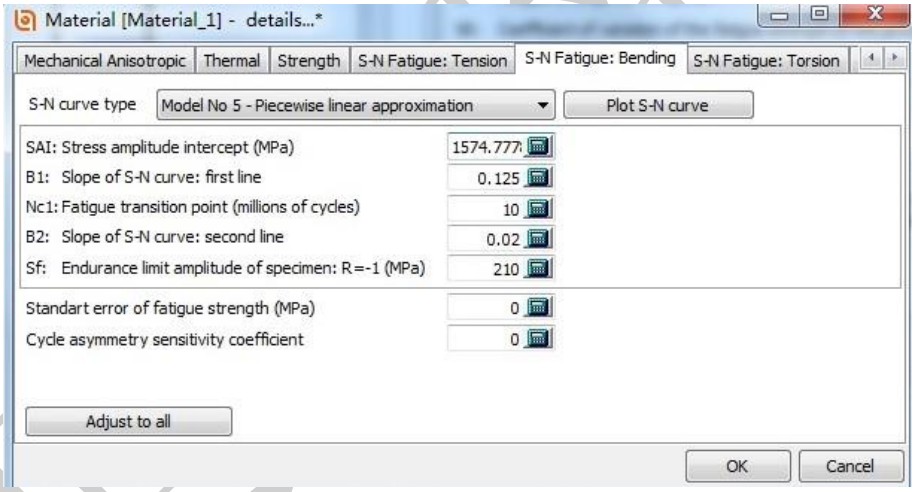


图 2.43

9. 依次点击**Adjust to all**和**OK**，分配给本组所有节点，保存到材料库。

备注：如果出现报错，忽略即可。

10. 回到顶板的**Group properties**界面，设置**Coefficient of variation of the fatigue strength of the group**为**0.1**。

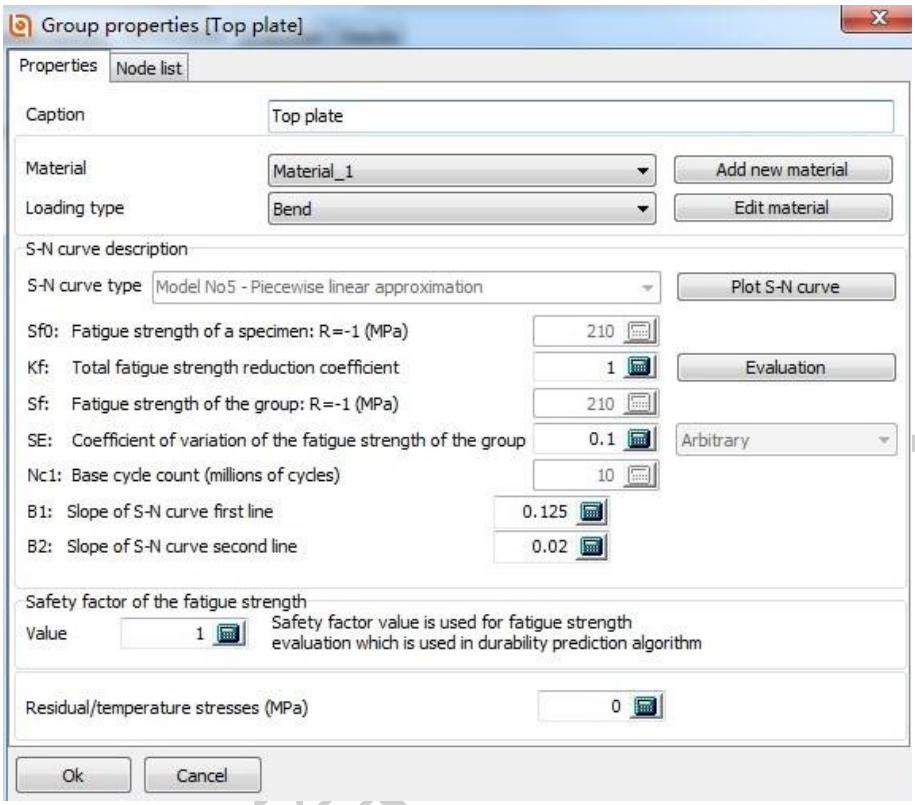


图 2.44

11. 点击**Evaluation**，定义**Total fatigue strength reduction coefficient**，如图2.45所示，其中**Effective stress concentration factor**为1，表示不考虑应力集中，直接采用局部弹性应力。

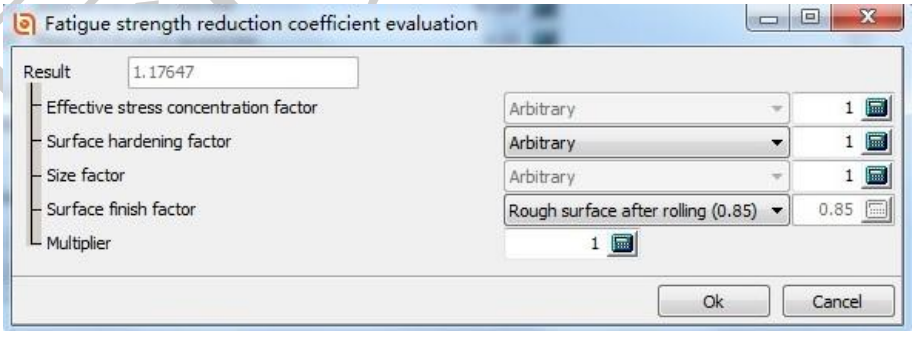


图 2.45

12. 连续点击两个**OK**，保存控制区域**Top plate**的材料数据。

13. 添加一个新的控制区域，命名为**Connections**。

14. 选择与**Top Plate**相同的材料类型，并设置参数如图 2.46所示。

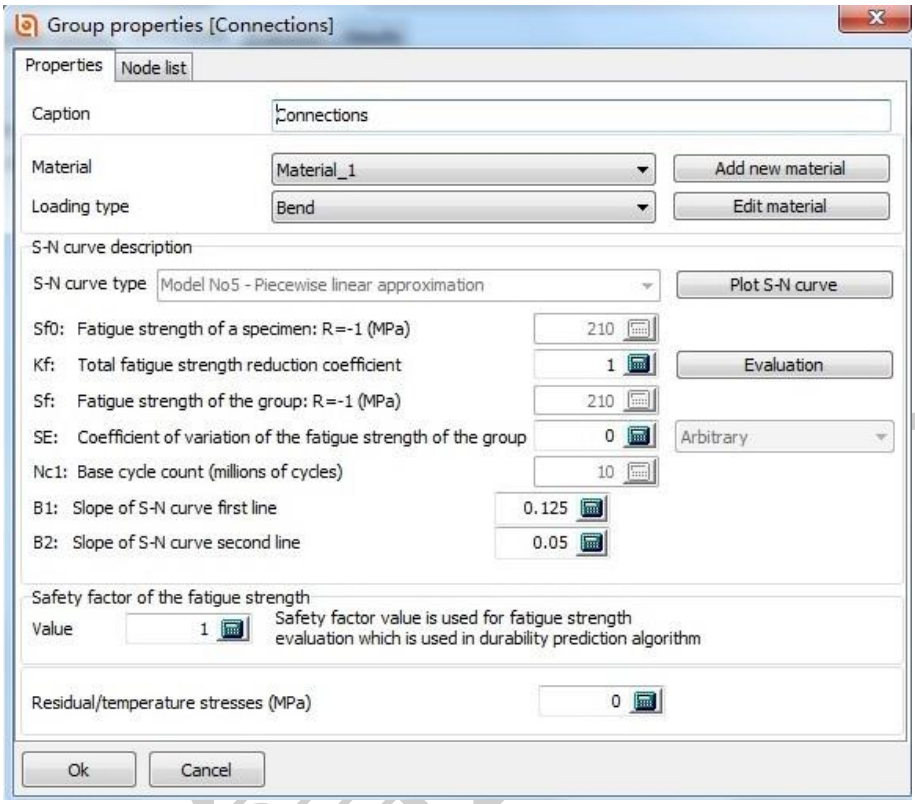


图 2.46

备注：英文手册中显示此处 B2 为 0.02，我们这里设置为 0.05。

15. 点击**Evaluation**，按图 2.47设置疲劳强度修正系数（考虑应力集中、表面处理、粗糙度、尺寸大小等效应）。

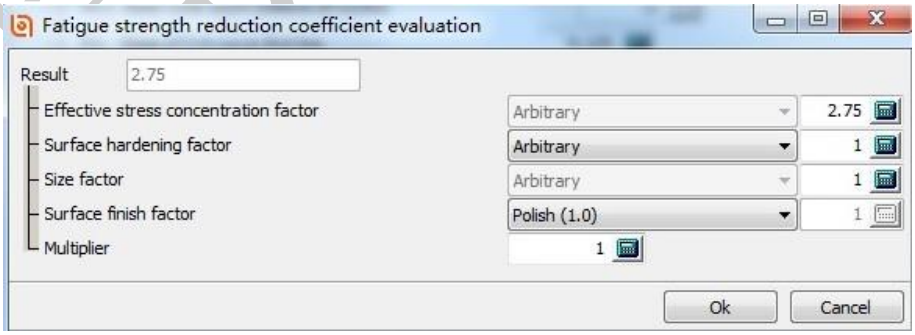


图 2.47

16. 在**Node list**页面，通过右键菜单加载连接区域节点**Connections node list.nls**。

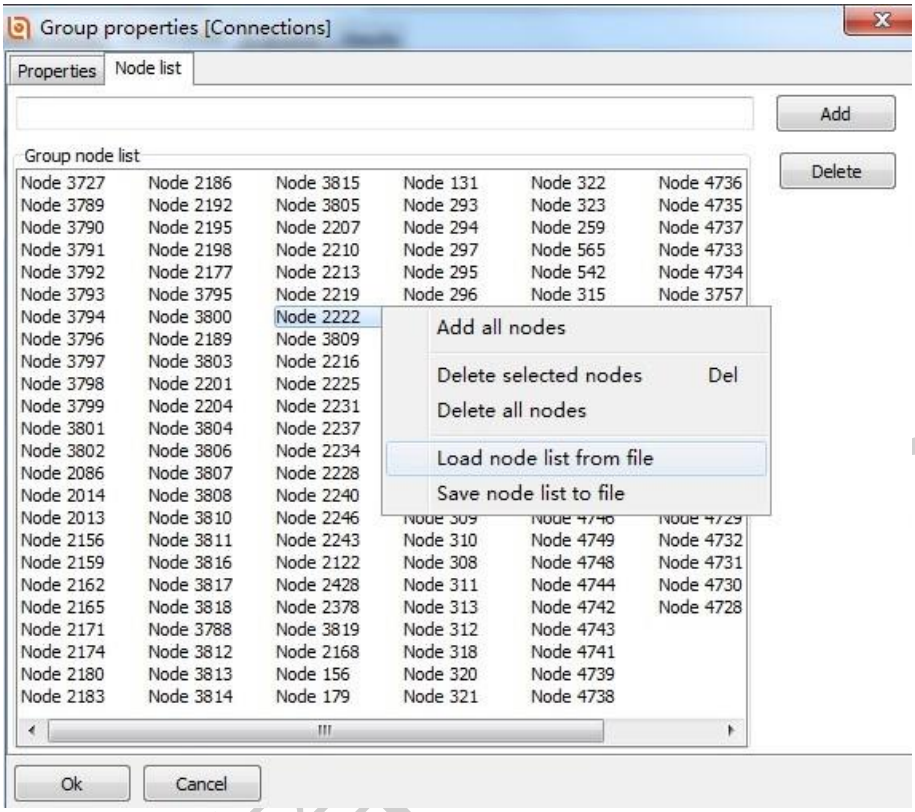


图 2.48

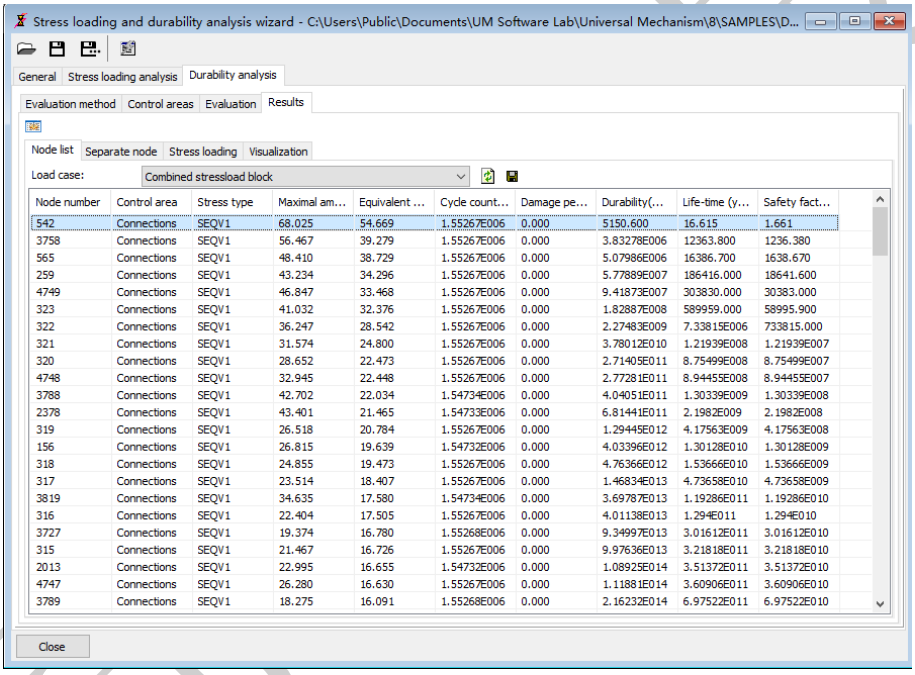
17. 点击**OK**。

2.5.3 疲劳耐久性分析

1. 定位到**Durability analysis | Evaluation**页面。
2. 点击**Calculate**，整个计算过程不到5秒钟。

2.5.4 结果分析

1. 定位到**Durability analysis | Results | Node list**页面。
2. 选择**Load case**为**Combined stressload block**，根据使用寿命排序，如图2.49所示。



Node number	Control area	Stress type	Maximal am...	Equivalent ...	Cycle count...	Damage pe...	Durability(...	Life-time (y...	Safety fact...
542	Connections	SEQV1	68.025	54.669	1.55267E006	0.000	5150.600	16.615	1.661
3758	Connections	SEQV1	56.467	39.279	1.55267E006	0.000	3.83278E006	12363.800	1236.380
565	Connections	SEQV1	48.410	38.729	1.55267E006	0.000	5.07986E006	16386.700	1638.670
259	Connections	SEQV1	43.234	34.296	1.55267E006	0.000	5.77889E007	186416.000	18641.600
4749	Connections	SEQV1	46.847	33.468	1.55267E006	0.000	9.41873E007	303830.000	30383.000
323	Connections	SEQV1	41.032	32.376	1.55267E006	0.000	1.82887E008	589959.000	58995.900
322	Connections	SEQV1	36.247	28.542	1.55267E006	0.000	2.27483E009	7.33815E006	733815.000
321	Connections	SEQV1	31.574	24.800	1.55267E006	0.000	3.78012E010	1.21939E008	1.21939E007
320	Connections	SEQV1	28.652	22.473	1.55267E006	0.000	2.71405E011	8.75499E008	8.75499E007
4748	Connections	SEQV1	32.945	22.448	1.55267E006	0.000	2.77281E011	8.94455E008	8.94455E007
3788	Connections	SEQV1	42.702	22.034	1.54734E006	0.000	4.04051E011	1.30339E009	1.30339E008
2378	Connections	SEQV1	43.401	21.465	1.54733E006	0.000	6.81441E011	2.1982E009	2.1982E008
319	Connections	SEQV1	26.518	20.784	1.55267E006	0.000	1.29445E012	4.17563E009	4.17563E008
156	Connections	SEQV1	26.815	19.639	1.54732E006	0.000	4.03396E012	1.30128E010	1.30128E009
318	Connections	SEQV1	24.855	19.473	1.55267E006	0.000	4.76366E012	1.53666E010	1.53666E009
317	Connections	SEQV1	23.514	18.407	1.55267E006	0.000	1.46834E013	4.73658E010	4.73658E009
3819	Connections	SEQV1	34.635	17.580	1.54734E006	0.000	3.69787E013	1.19286E011	1.19286E010
316	Connections	SEQV1	22.404	17.505	1.55267E006	0.000	4.01138E013	1.294E011	1.294E010
3727	Connections	SEQV1	19.374	16.780	1.55268E006	0.000	9.34997E013	3.01612E011	3.01612E010
315	Connections	SEQV1	21.467	16.726	1.55267E006	0.000	9.97636E013	3.21818E011	3.21818E010
2013	Connections	SEQV1	22.995	16.655	1.54732E006	0.000	1.08925E014	3.51372E011	3.51372E010
4747	Connections	SEQV1	26.280	16.630	1.55267E006	0.000	1.11881E014	3.60906E011	3.60906E010
3789	Connections	SEQV1	18.275	16.091	1.55268E006	0.000	2.16232E014	6.97522E011	6.97522E010

图 2.49

由图 2.49 看出，最危险的区域位于节点 **542** 处，其寿命为 **16.615** 年（能工作 5150 天），符合设计标准，该构件满足工况需求。

3. 定位到**Durability analysis | Results | Separate node**页面，选择节点**542**，由图 2.50可知，节点**542**最危险的工况为**Stable work**。

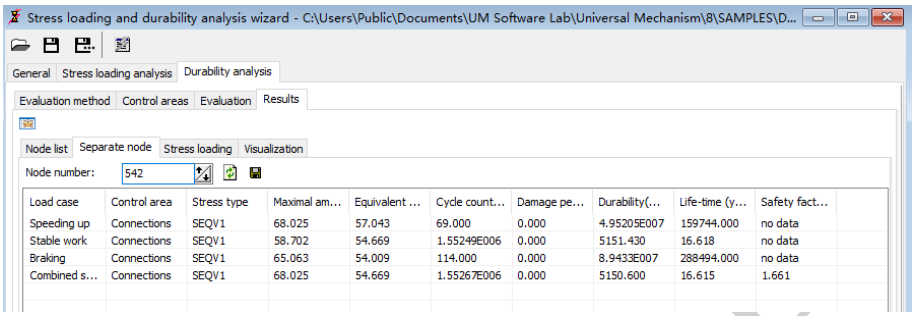


图 2.50

4. 定位到**Durability analysis | Results |Stress loading**页面，输入节点号**542**。

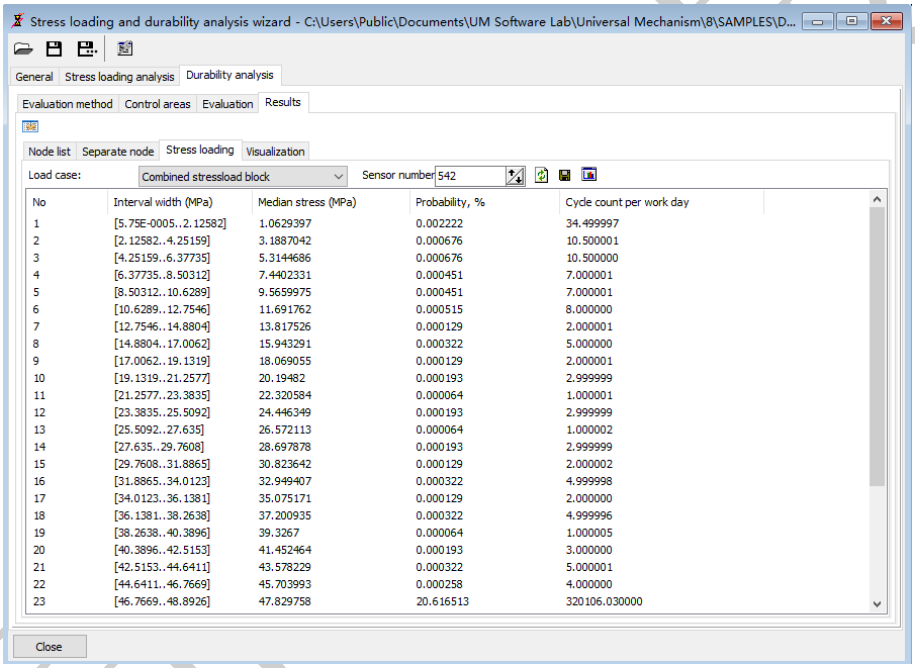


图 2.51

5. 点击按钮，可查看直方图。

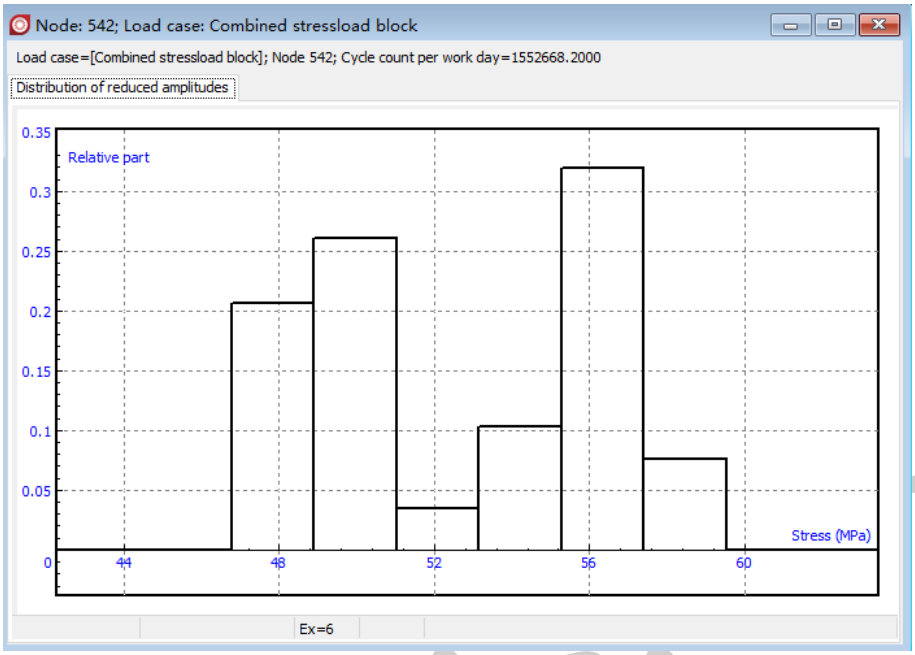


图 2.52

备注：软件此处有 BUG，多个选项未显示，待以后更正。