

KISSsoft 03/2013 – Tutorial 5

轴的校核分析

KISSsoft AG

Rosengartenstrasse 4
8608 Bubikon
Switzerland

Tel: +41 55 254 20 50
Fax: +41 55 254 20 51
info@KISSsoft.AG
www.KISSsoft.AG

目录

1	开启 KISSsoft 软件.....	3
1.1	KISSsoft 软件的启动.....	3
1.2	选择计算模块.....	3
2	轴的分析	4
2.1	任务，打开现成案例	4
2.2	结果	6
2.3	挠度计算	7
2.4	本征频率.....	9
2.5	轴强度分析	11
2.5.1	计算方法的数据	12
2.5.2	常规数据.....	12
2.5.3	材料的信息	12
2.5.4	危险截面的选择和分析	14
2.5.5	分析和结果	16
2.6	报告	16
3	深入计算	17
3.1	额外计算	17
3.2	滚动轴承的集成和计算	17

1 开启 KISSsoft 软件

1.1 KISSsoft 软件的启动

一旦 KISSsoft 安装和激活后，用户可依次点击“开始→程序→KISSsoft 03-2013→KISSsoft”打开程序。进入用户操作界面，如下图所示：

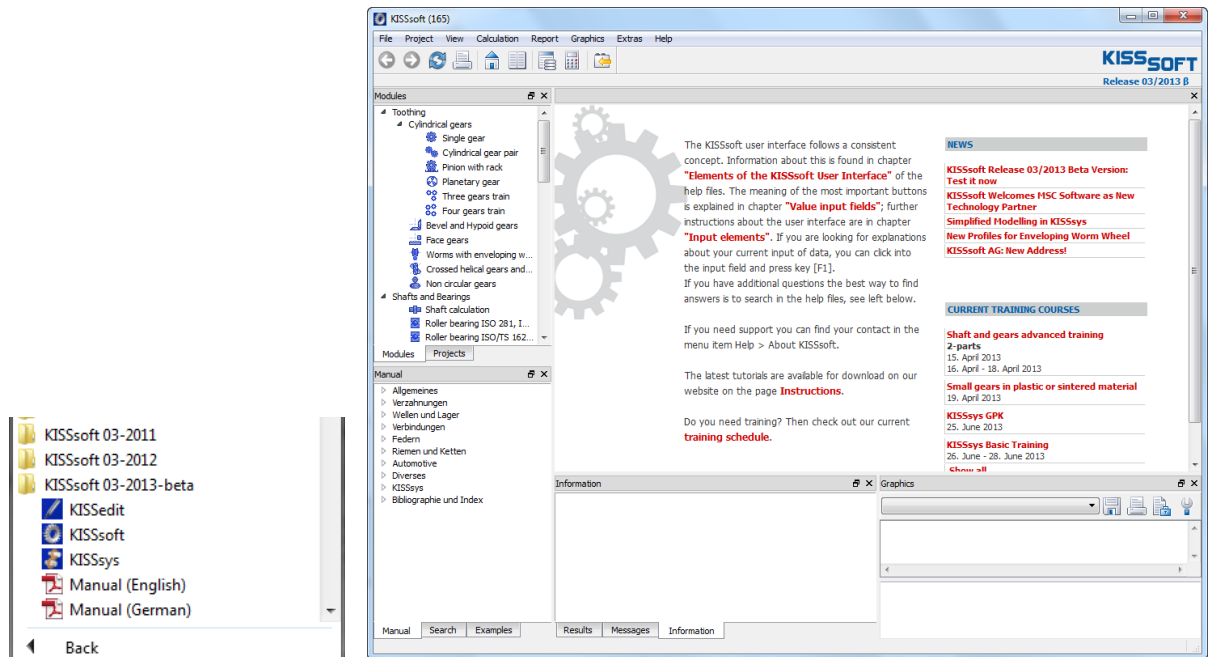


图 1. 程序启动步骤和初始界面

1.2 选择计算模块

在“**Modules**”模块列表中，双击模块树窗口中的“shaft calculation”轴计算模块，激活该程序。

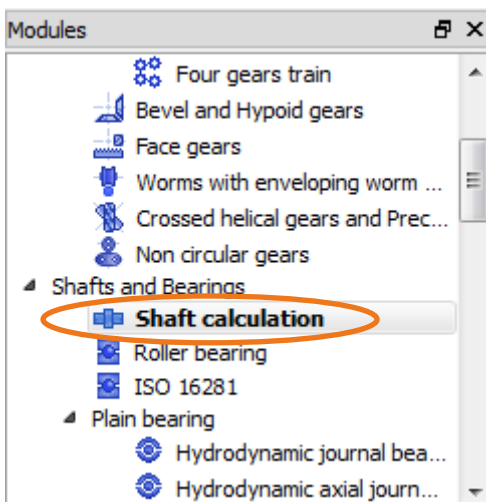


图 2. 轴计算程序的激活

2 轴的分析

2.1 任务，打开现成案例

案例为用户已经建立好模型，如图 3。为方便用户学习和使用，内置说明指南。根据用户操作时出现的问题或者设置的陌生参数会自动弹出相关解释信息，并附相关教案和具体案例。该轴系可靠性计算主要涉及下面三部分内容：

- 刚度-轴扰度计算；
- 平稳性-临界转速；
- 强度-静强度和疲劳强度。

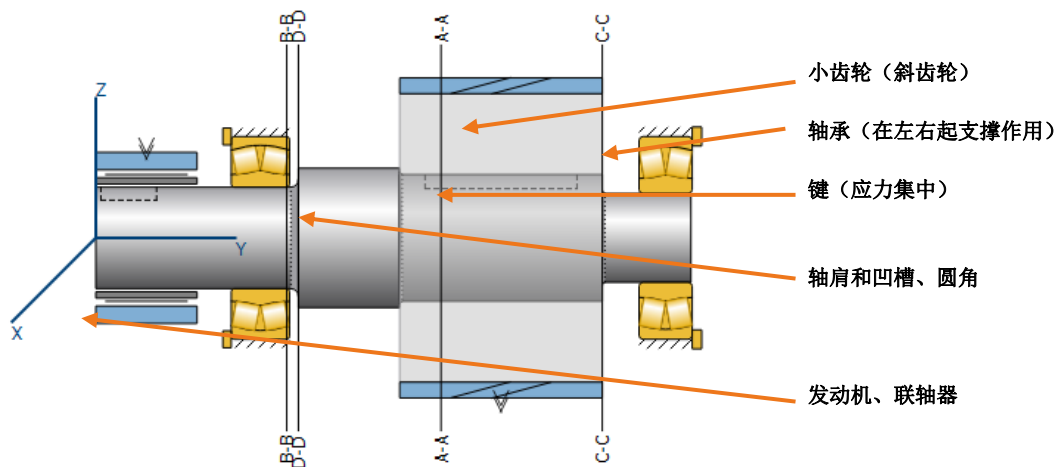


图 3. 分析小齿轮轴

轴是由联轴器、发动机来驱动的。额定功率为 75W，转数为 980rpm，并由外部斜齿轮传递出去。

该轴案例已经存在于现成的案例文件库中，名为“Shaft 1.W10”的文档。用户也可以在软件帮助检索中的“**Examples**”左键双击该文档，或者按顺序点击“**File**”→“**Open**”，并找到 KISSsoft 对应的子目录的文档相应位置，具体操作界面如下所示：

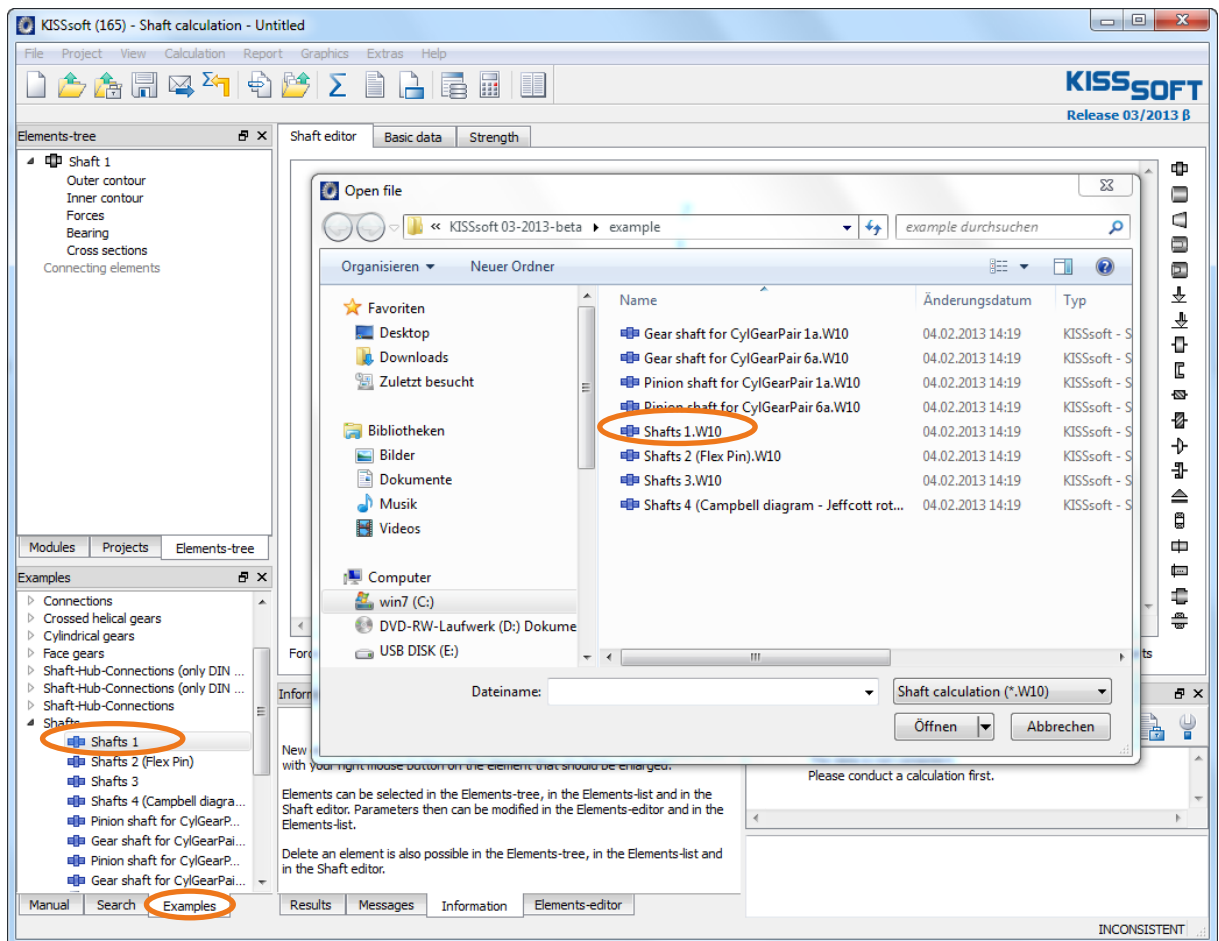


图 4. 打开案例进行分析

点击**"Shaft editor"**轴编辑器窗口，出现如图 5 所示的具体轴系的结构 2D 模型。

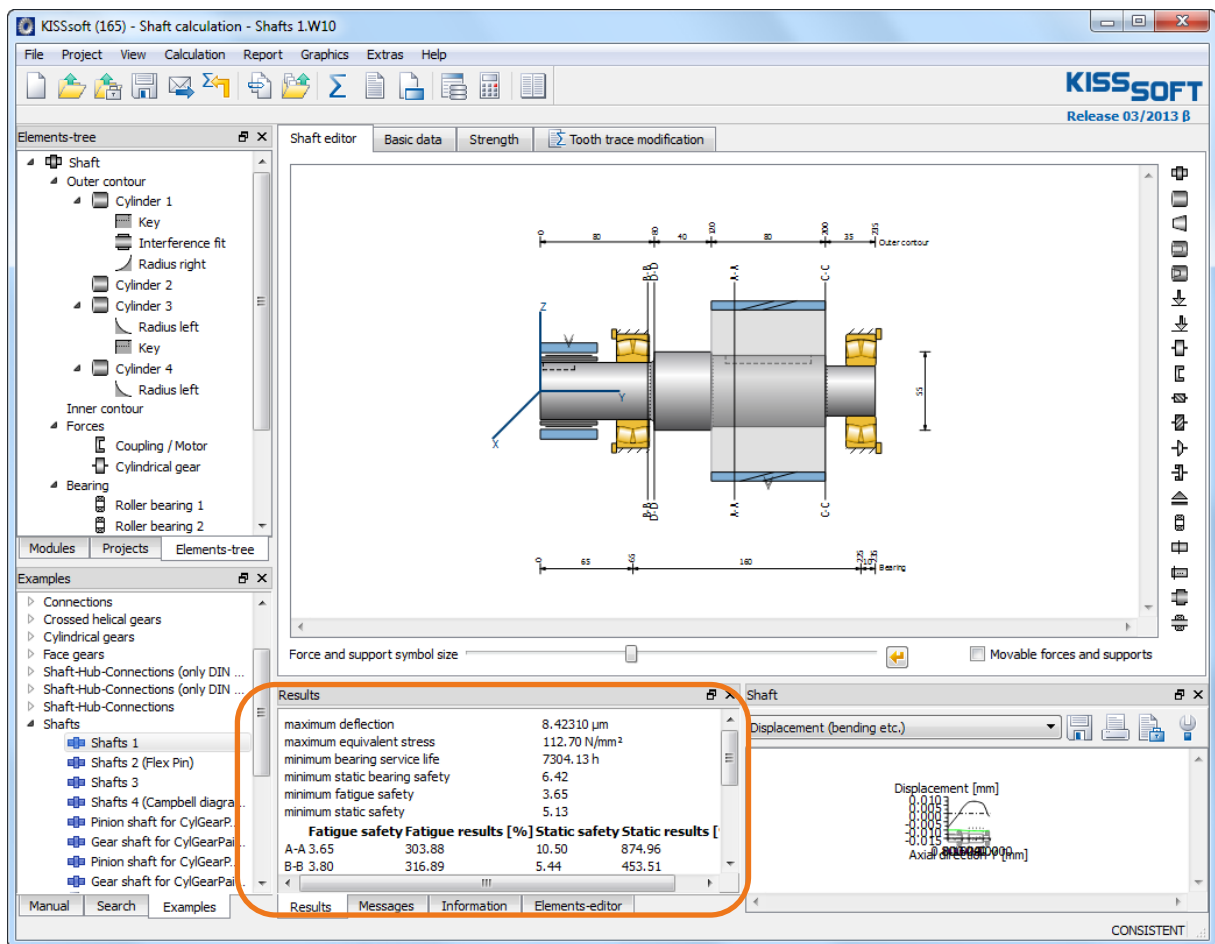






图 5. 打开轴分析界面

关于建模的详细操作在前一篇教案中已经讲解过，本章将对轴的参数及分析图形的意义做进一步探讨。

点击新建 ，将会出现空白轴模块界面，用户可以设置初始数据，当完成轴的定义后，点击  或按 F5 计算，在结果栏会列举出重要的计算结果，并且在 2D 界面中出现轴图形分析曲线。

当打开轴计算文件时将根据已经设定好已知条件运行初始的计算程序。一旦完成轴系的定义后，在菜单栏点击  或点击（键盘 F5）运行所有特定的计算项目。结果将显示在特定图片或表格当中。

2.2 结果

结果栏中列出了计算后的重要数据，点击窗口右上角的  符号，可根据需要调整窗口大小，如图 6，为放大窗口后的效果图，方便浏览结果。

Results

maximum deflection	8.42310 µm
maximum equivalent stress	112.70 N/mm ²
minimum bearing service life	7304.13 h
minimum static bearing safety	6.42
minimum fatigue safety	3.65
minimum static safety	5.13

	Fatigue safety	Fatigue results [%]	Static safety	Static results [%]
A-A	3.65	303.88	10.50	874.96
B-B	3.80	316.89	5.44	453.51
C-C	4.00	332.99	13.15	1095.93
D-D	4.10	341.39	5.13	427.46

Bearing service life	S0	Ln _h	Ln _{mh}
Roller bearing 1	6.42	7274 h	7304 h
Roller bearing 2	9.72	24419 h	45063 h

Bearing reaction force	Component	X	Y	Z	Rxz
Roller bearing 1	F	-3.088 kN	3.264 kN	4.977 kN	5.857 kN
	M	0.000 Nm	0.000 Nm	0.000 Nm	0.000 Nm
Roller bearing 2	F	-1.501 kN	0.000 kN	7.256 kN	7.409 kN
	M	0.000 Nm	0.000 Nm	0.000 Nm	0.000 Nm

图 6. 放大列举出的结果

2.3 挠度计算

在“Basic data”窗口的“Strength”选项中，可以将齿轮装配与轴系中考虑刚度并参与扰度计算，该选项为将齿轮在轴系中的计算选项。而有以下几个选项供选择：

- 忽略轴上的齿轮的质量和刚度；
- 只考虑齿轮的质量（齿轮在轴的安装为松配，虽然它将自身的重量和外部载荷一起附着在轴上，但不会对轴起到刚度变形作用；
- 考虑齿轮的质量和刚度（齿轮紧密贴合轴并与轴形成整体），为齿轮轴的选项；
- 考虑齿轮的质量和刚度，但计算时以较小的直径参与计算（齿轮进行过盈配合安装，根据 ISO 的标准）。

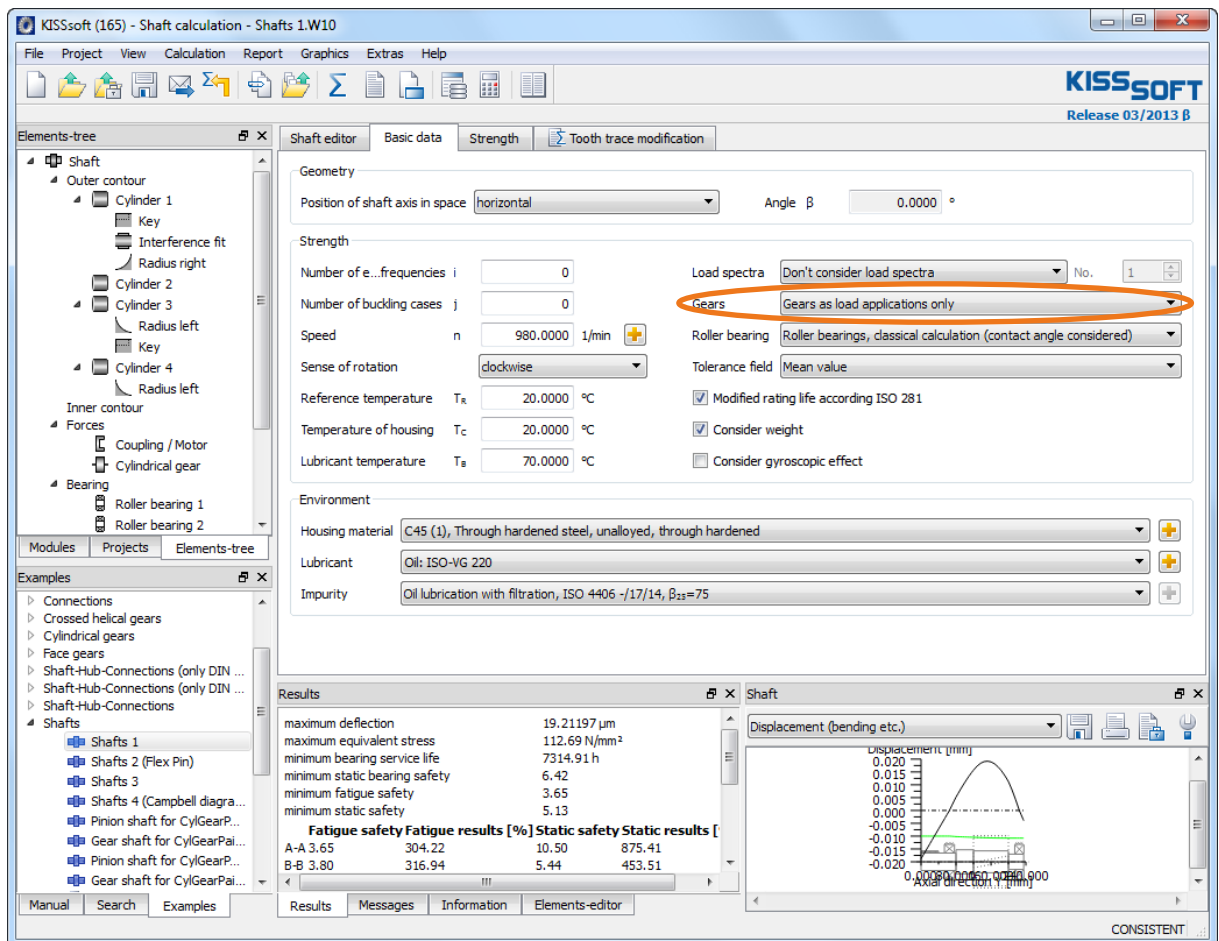



图 7. 考虑齿轮刚度的选项

在完成选择后，点击  或按键盘中的“F5”启动计算程序。为显示轴系的弯曲变形的曲线图，可按照 “Graphics”-> “Shaft”-> “Displacement (bending curves etc.)” 依次点击，在弹出的 2D 窗口的下拉菜单中选择“变形量（弯曲等）”选项。

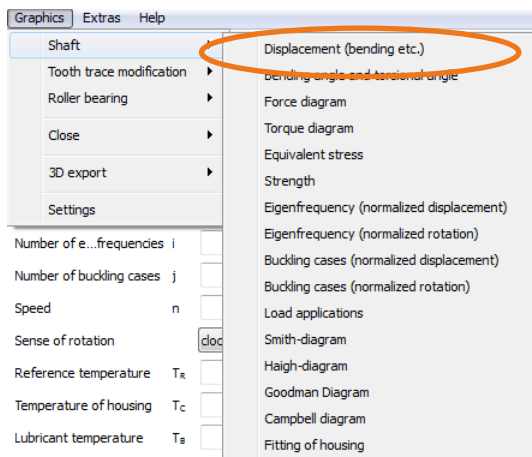


图 8. 在菜单栏显示轴弯曲变形曲线的选项

注意：在默认情况下，结果分析窗口将会显示在右下角位置。点击“轴弯曲变化曲线”将弹出图 9 的窗口。

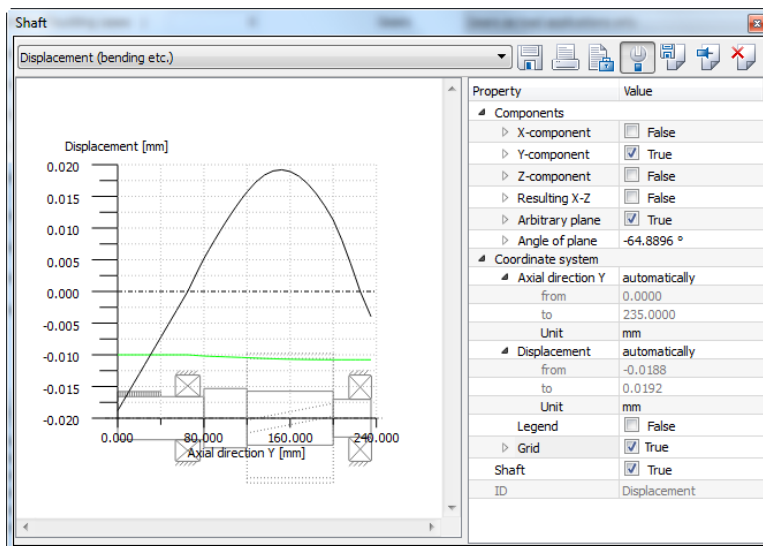


图 9. 显示和选择轴变形量变化曲线

最大变形量将在结果窗口中显示，在斜齿轮的螺旋角的作用下产生实际力矩，在软件中将映射到坐标轴上后生成 x 和 z 轴作用后的扰度数据曲线，如图 9 所示，其含义为在 $\alpha = -64.88^\circ$ 空间层面上产生 $ux = 19.2 \mu\text{m}$ 沿 x 方向的最大挠度值，该数据为最大所有可能区间内的最大挠度。

同时，选择 **"Report" → "Diagrams of bending"**，在文档中列举详细数据值。

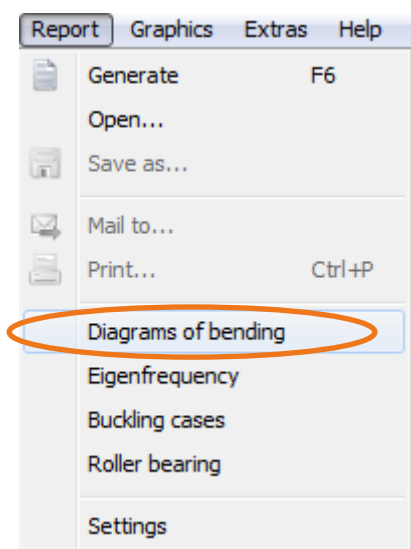



图 10. 生成具体弯曲挠度的值

2.4 本征频率

在本案例中，将考虑前三个本征频率下的轴模态变化。为此，打开 **"Basic data"** 基本设置界面，选择考虑齿轮元素（这里保守地选择只考虑重量作为估算值）。在

“本征频率数量”的输入栏中设置数目（3）。点击计算按钮 ，启动程序。对更多关于计算的信息，点击 **"F1"**。

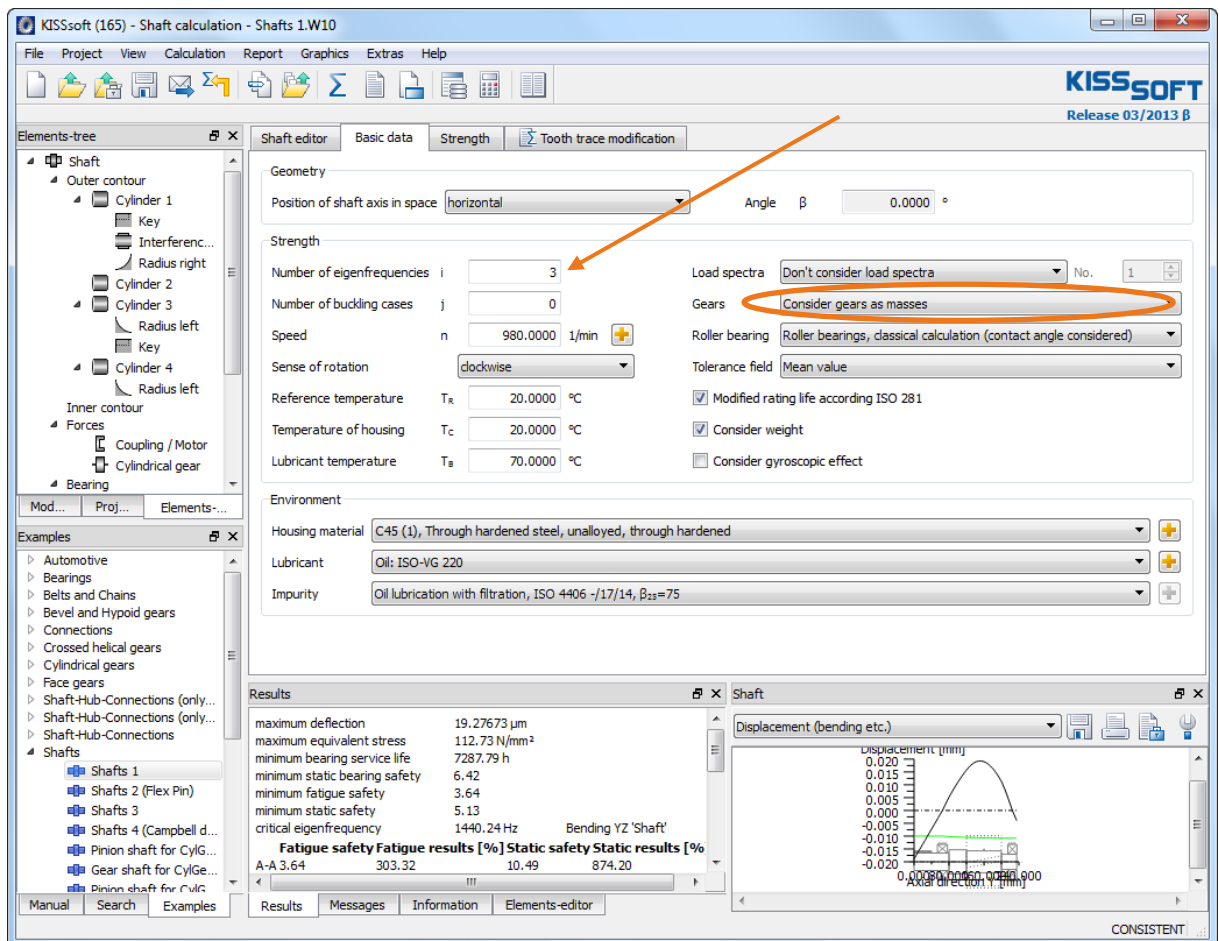


图 11. 输入本征频率的数目

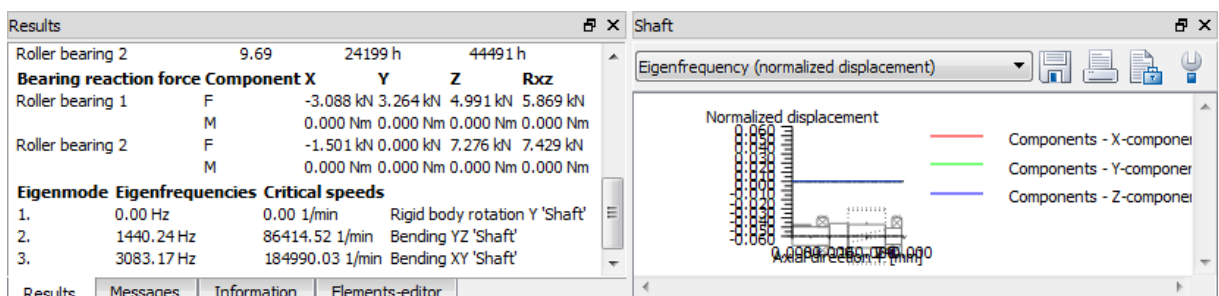


图 12. 计算出的每个频率下的极限转速

在图 13 的结果窗口中可以看到这三个本征频率下对应的极限转速和频率下的轴变形的情况。在 0Hz 条件下轴本身还处于刚性体状态，无变形征兆。开启“Property browser”属性编辑窗口，可显示另外两个本征频率值，它们各代表了不同时段、频率下轴的扭转角度和偏移距离，其对应的图表如图 14 所示，供用户参考。

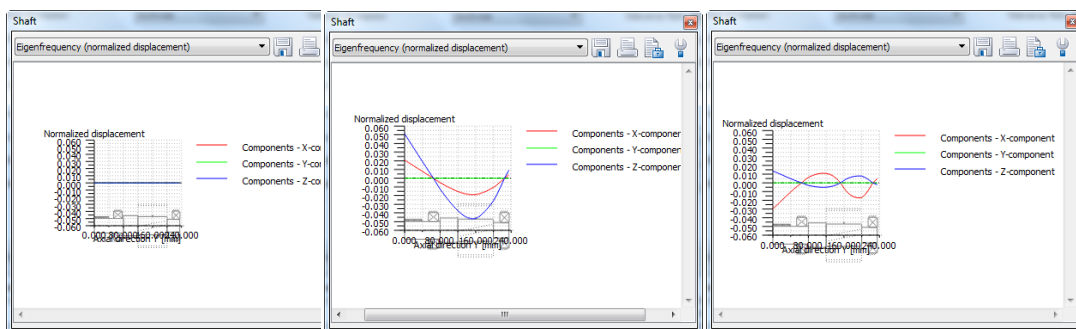


图 13. 本征频率的结果

2.5 轴强度分析

打开“**strength**”强度设置窗口（如图 14 所示），通过相关的选项决定最终强度分析结果。KISSsoft 目前能提供三种强度校核的方法，它们分别为：Hänchen and Decker、DIN 743 和 FKM 三种标准。本案例中通常使用 DIN 743。

	Bending	Torsion	Tension/Compression	Shearing force
Stress	Alternating	Pulsating	Pulsating	Alternating
Stress ratio	-1.0000	0.0000	0.0000	-1.0000
Load factor static calculation	1.7000	1.7000	1.7000	1.7000
Load factors endurance calculation	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

图 14. 强度校核计算涉及的相关选项

- (1) 负载情况；
- (2) 选择校核的标准；
- (3) 常用数据；

决定轴上哪些危险截面需要计算，需要右击“**Elements tree**”元件树中的“**Cross sections**”危险截面部分，生成如图 15 的信息。默认情况，软件会根据轴上的不同位置的应力情况和过盈配合状态，自动找到这些危险的部位并添加危险截面标识。相反，用户也可以根据实际情况自行定义。

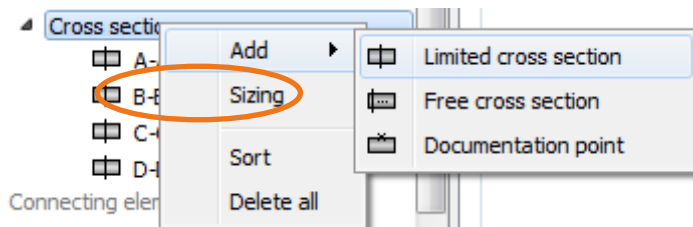


图 15. 启动危险截面分析功能 – 自动选型

2.5.1 计算方法的数据

可以沿用案例中默认的设置。

2.5.2 常规数据

负载类型等细节选型，如下可设置静强度或疲劳强度的校核类型。



图 16. "Strength" 强度界面: "Calculation"计算部分 –设置细节校核方法

负载类型：交变的弯曲负载, 脉冲式的扭转变形力矩 （对斜齿轮，属于脉冲式的拉伸-压缩式的负载类型）；	静强度的负载系数			
	疲劳强度的负载系数			
General data Stress Stress ratio Load factor static calculation Load factors endurance calculation	Bending Alternating -1.0000 1.7000 1.0000	Torsion Pulsating 0.0000 1.7000 1.0000	Tension/Compression Pulsating 0.0000 1.7000 1.0000	Shearing force Alternating -1.0000 1.7000 1.0000

图 17. "Strength" 强度校核界面: "General data ".常用设置栏 – 负载细节设置

在本案例中轴系承受了不同频率的弯曲和扭矩的复杂工况（比如齿轮轴在频繁快速启动和紧急暂停的情况下），需要判断是否以常值负载来影响计算结果（这里对扭矩），或者脉冲式负载将会被预估。为避免报错，所以计算都将会别执行，最低的值将会作为结果被评价。

2.5.3 材料的信息

在轴计算界面的"**Basic data**"基本数据窗口中，如下图 18 所示，可以定义壳体的材料。对于轴材料的定义，可到轴自己的对话框中进行设置。在元件编辑窗口中可以自由修改轴的材料选项。

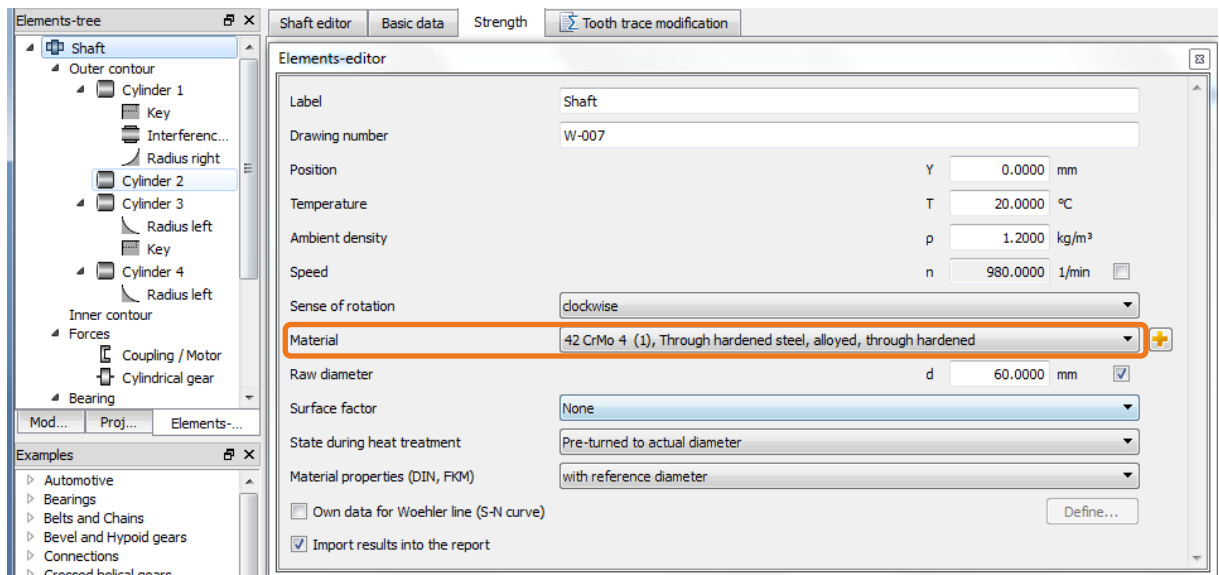


图 18. 轴材料选项

然而，还可以输入更多详细的影响系数来影响最终强度计算的准确性（比如包括工艺尺寸系数等）。

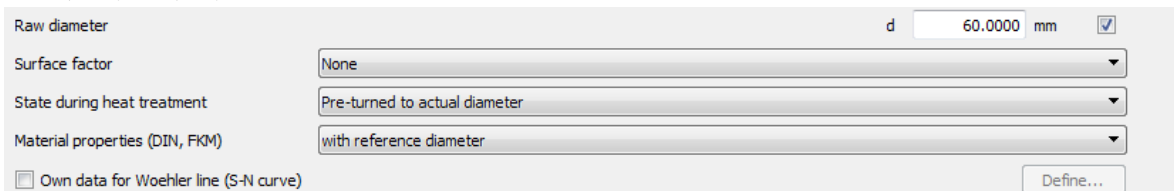


图 19. 材料详细信息

To define the technological size coefficient $K_{1, \text{def}}$, select one of these three options:

定义工艺尺寸系数 $K_{1, \text{def}}$ ，下拉菜单中有如下的选项：

- **Preturned to actual diameter:** 该选项中未加工的原料不考虑工艺系数的影响。在实际加工并热处理后，根据轴上每个横截面的情况计算出 $K_{1, \text{def}}$ ；
- **Raw diameter:** 选项 $K_{1, \text{def}}$ 用于未加工原料并且适用于的所有横截面；
- **Preturned to actual diameter (shoulders K_1 from d):** 该选项和 “Pre-turned to actual diameter” 大致相同，只是在轴肩处根据定义的最小直径 d 决定 $K_{1, \text{def}}$ 。

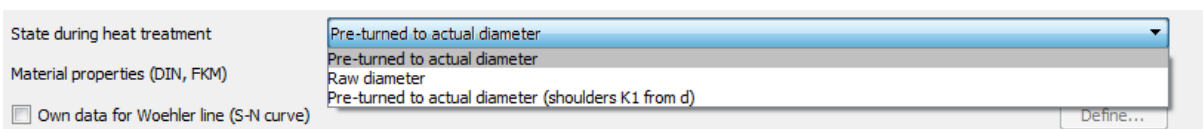


图 20. 材料的额外信息 – 热处理方式

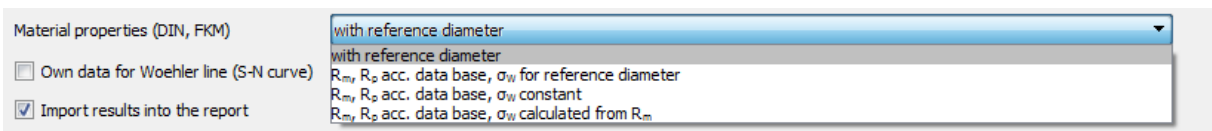


图 21. 材料的额外信息 – 这些特定的选项表征了临界特征，影响最后的强度结果

Reference diameter 参考直径：数据来源于数据库（参考的圆棒料的直径），且乘以 K_1 系数。

- R_p 抗拉强度和 R_m 屈服强度的值是由计算决定的（不考虑 K_1 ），疲劳强度 σ_w 的值是由数据库中实验参考直径决定，并乘以 K_1 ；
- R_p 抗拉强度和 R_m 屈服强度的值是由计算决定的（不考虑 K_1 ），疲劳强度 σ_w 定义不受几何形状影响，尺寸因素 K_1 并不考虑；
- R_p 和 R_m 的值根据数据库计算出来，疲劳强度 σ_w 的值是由材料标准中的屈服点 R_m 决定。 R_p 和 R_m 值来源于数据库，由尺寸大小决定。 σ_w 由标准中的屈服点 R_m 决定。点击自定义 S—N 曲线选项可输入自己的材料实验数据。

表面粗糙度将直接影响到相关修正的系数，在定义轴端几何的对话框中已经完成。对更多信息，请翻阅教程 006 中相关的解释，在此不再赘述。

2.5.4 危险截面的选择和分析

在一次轴计算中最大可以同时检查 20 个横截面的情况。所有列在元素树中的“横截面”都可进行编辑和结果分析，如图 22 所示。

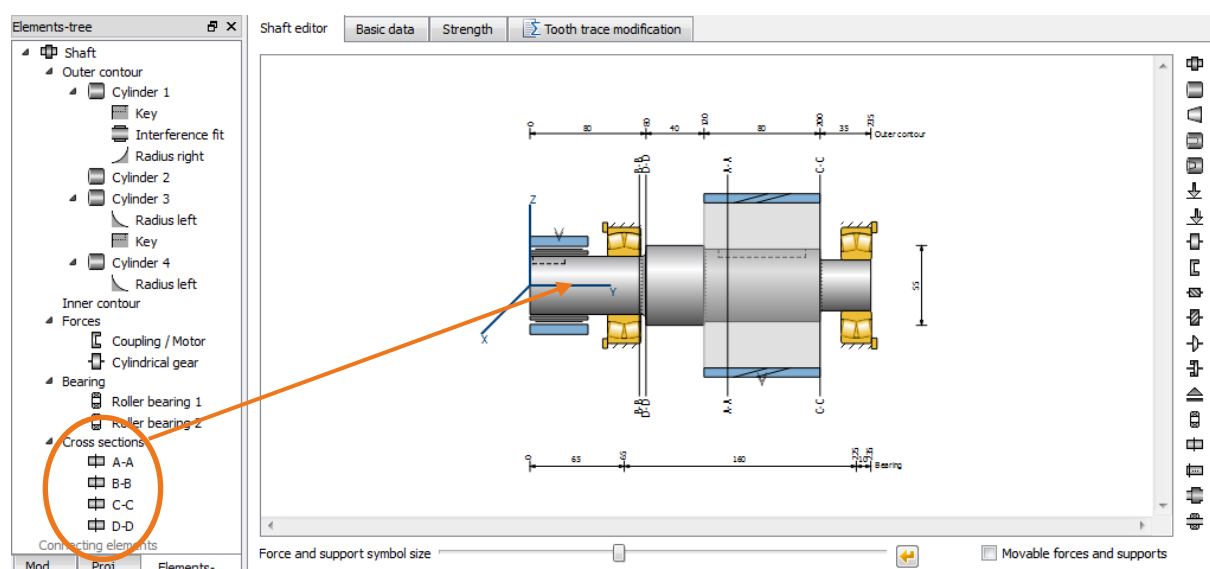


图 22. 危险截面的分析

在定义横截面时必须定义的两大参数：Y 轴方向的位置和应力集中系数。KISSsoft 能根据等效应力和切口的状态作为衡量的标准，并自动选择出最危险横的截面。具体操作包括：选择“**Cross sections**”，在图标上点击右键然后在下拉菜单中选择“**Sizing**”自动选型（图 15 所示），KISSsoft 系统将自动获取危险截面的信息。

也手动添加横截面到任意轴端位置，图 23 所示为两种横截面供选择，包括：限制性横截面和自由横截面设置。

限制性横截面：对话框无需定义应力集中系数或切口的状态，该系数和定义的轴几何尺寸绑定。

自由横截面：与几何尺寸独立，需要自行定义应力集中集中系数。

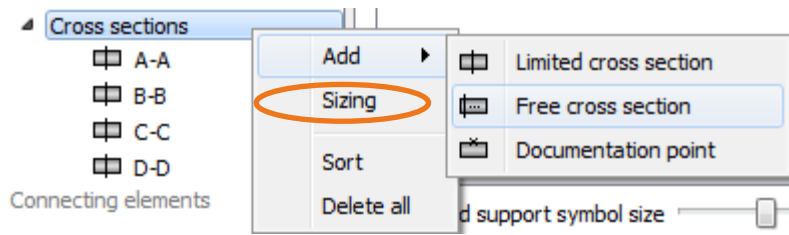


图 23. 添加危险截面

- 可以在 Y 轴方向输入任意值确定两种类型横截面的位置（本案例为 **85mm**）；
- 在自由横截面对话框中完善键槽口等切口位置细节参数设置(横孔直径为 **5mm**)；
- 点击轴编辑器，如图 25 所示在该对话框内设置参考位置，也可以使用鼠标移动横截面，如图 24 所示。

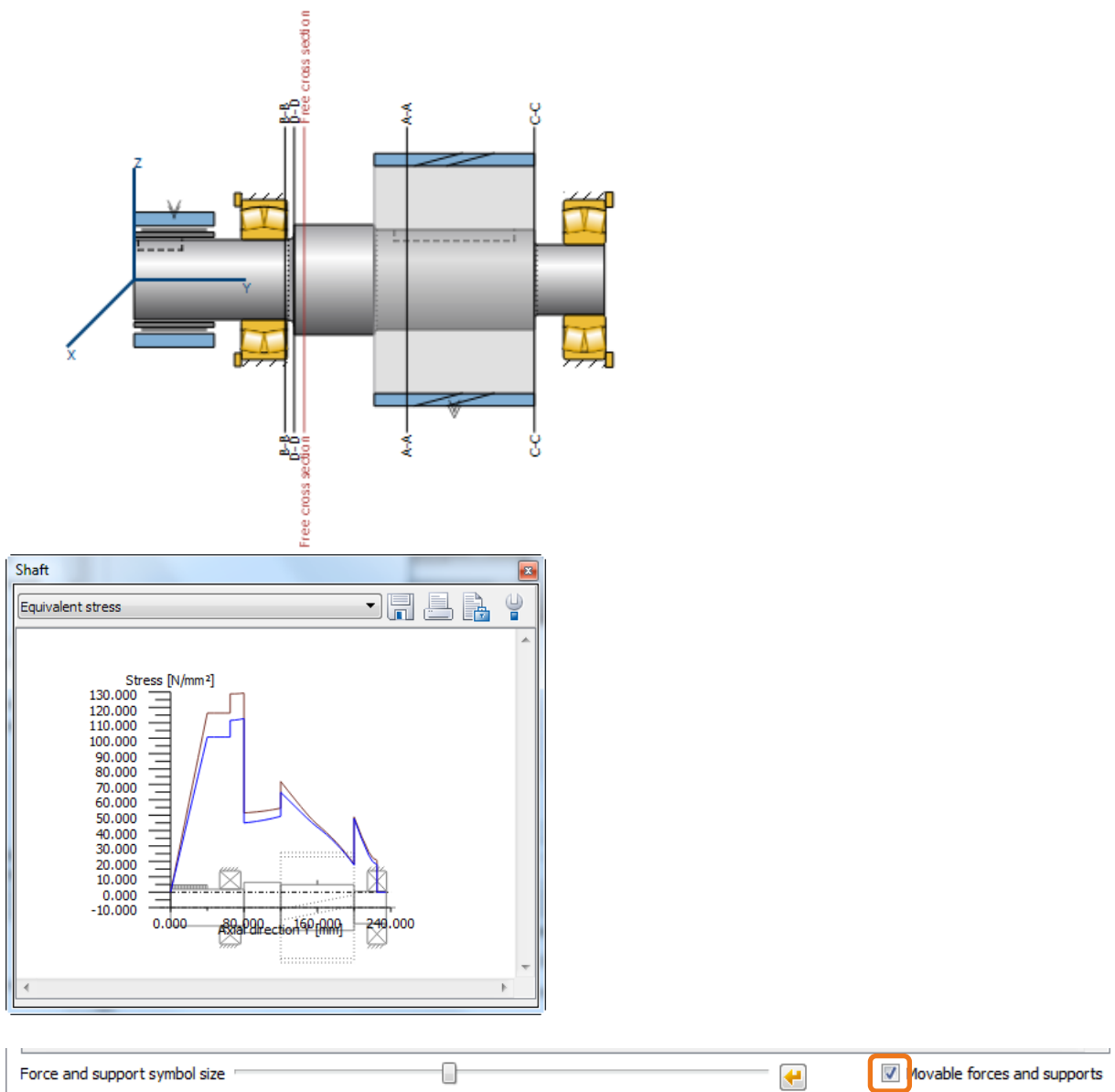
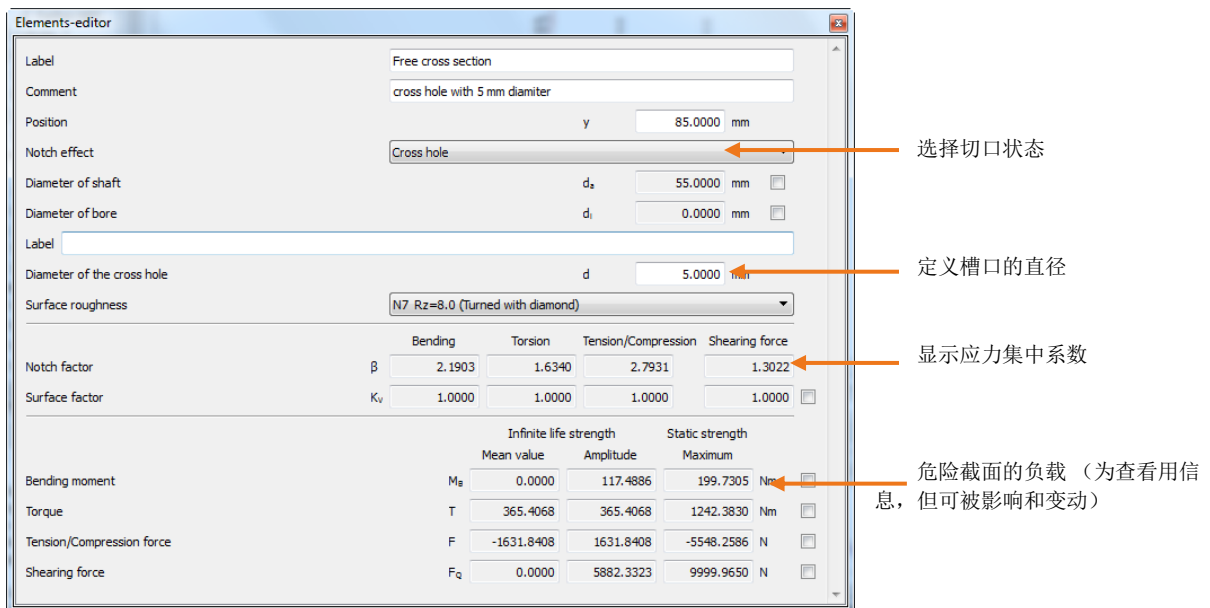



图 24. 带危险截面的图片（激活的危险截面：红色）和等效应力图

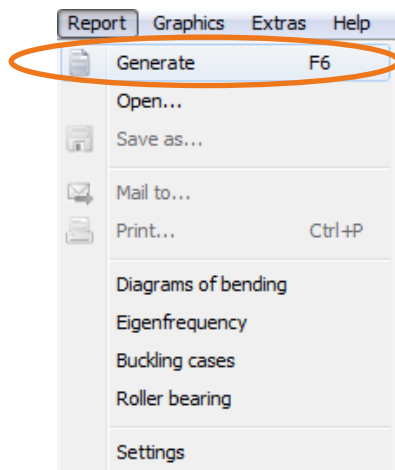


2.5.5 分析和结果

当危险横截面的选项被定义后，点击  计算按钮，启动运算程序。安全系数等重要结果都在下方的窗口内显示。按照 DIN 743 标准，最小许用的安全系数为 1.20。然而，这个值仅仅适用于不确定的流程或者没有精确理论假定载荷值情况的预估值，在实际的生产中，需要适当提高安全系数幅度防止轴断裂或破损。

2.6 报告

对于详细的计算结果的描述，点击**"Report"→"Generate"**，在主窗口中的菜单上可找到。输出这些特定计算后的详细数据，点击该报告按钮。



3 深入计算

3.1 额外计算

- 扭矩下的临界转速：看 2.4 章节的本征频率计算；
- 屈曲：计算翘曲载荷（轴向载荷）或必要的负载提升的系数范围；
- 齿向修形的评估：建议出一组合理的鼓形量，比如由于轴扭转和弯曲变形而需要对齿轮做出的补偿量；
- 载荷谱：使用多种不同工况和最终修正后的迈纳定则原理（线性损伤累积假设理论 **Miner rules**），有效地消除疲劳寿命预测中的计算误差；
- 坎贝尔图的计算；
- 滚动轴承和滑动轴承的校核，请参考 3.2 章节；
- 复合同心轴的计算。

3.2 滚动轴承的集成和计算

轴模块还集成了滚动轴承的计算程序，在系统运行的过程中可以也考虑轴承的相关信息。在本案例中，轴承上承受的负载将自动施加到轴上作为外来负载被考虑。并最终根据轴承力的大小校核出轴承的寿命（更多信息，请查看教程 007）。