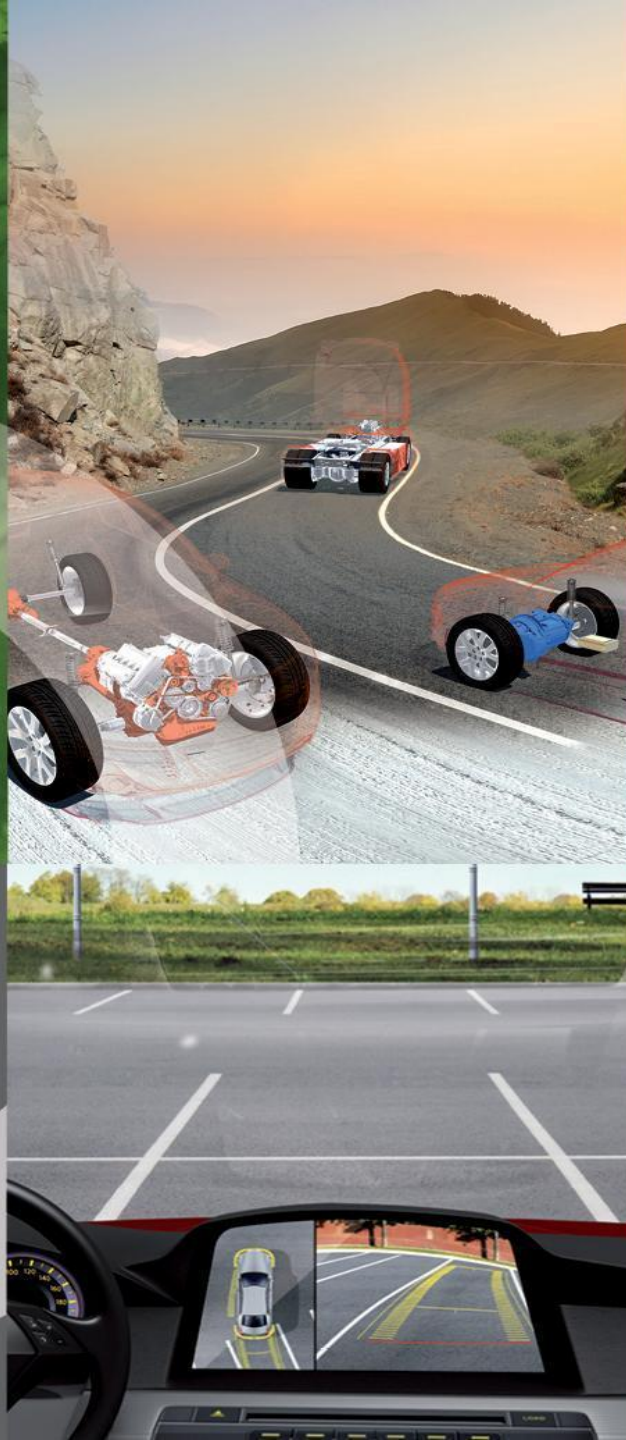
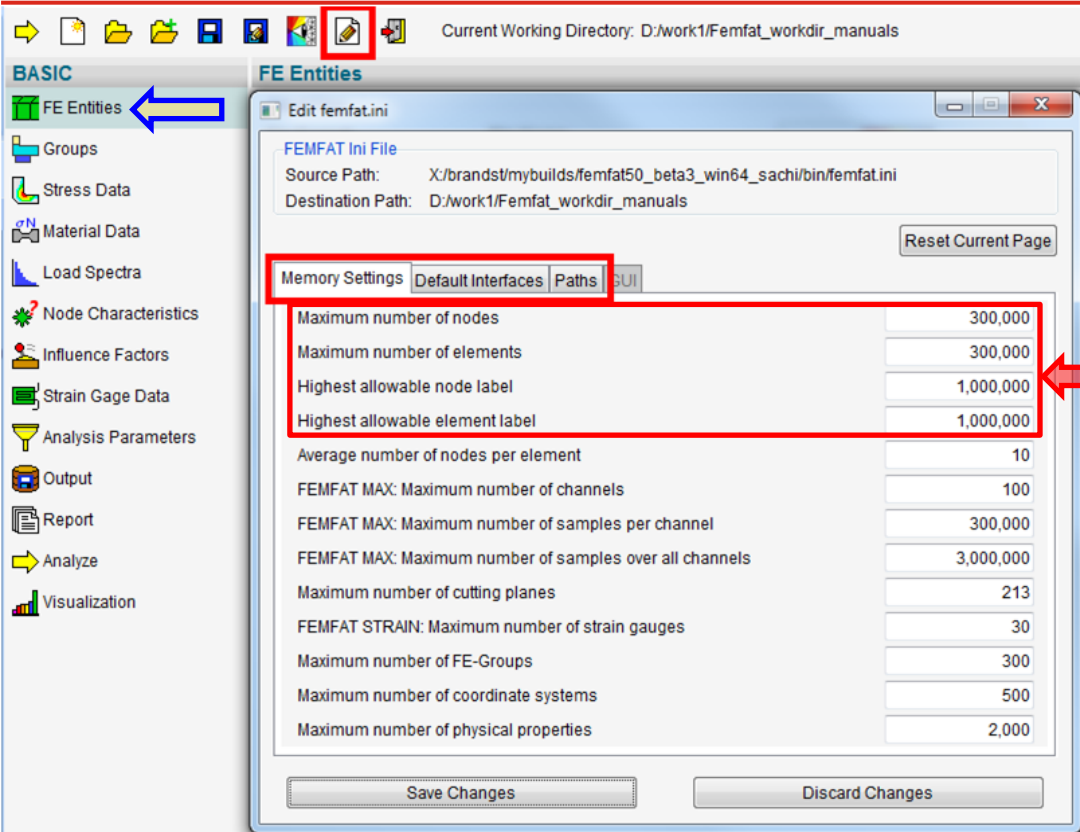




FEMFAT 参数设置

Engineering Center Steyr

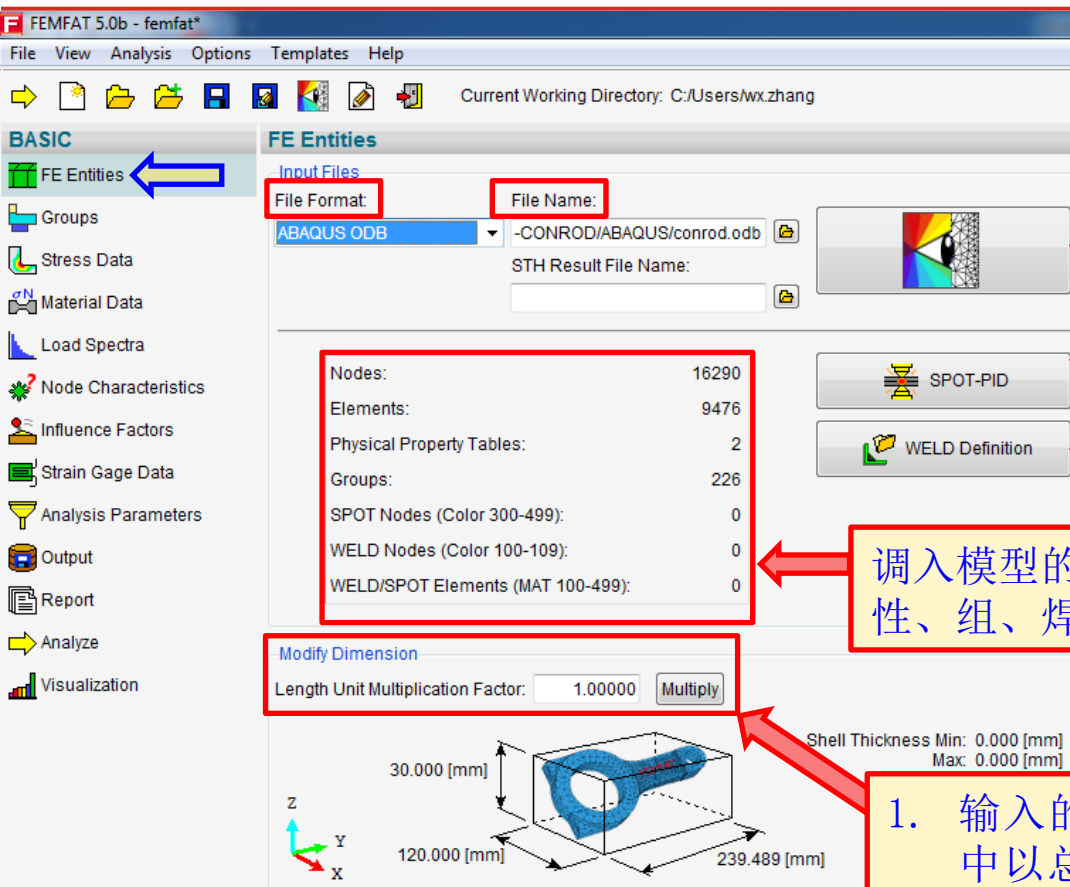
FEMFAT BASIC



文件编辑器

文件编辑器用于调整软件设置，保存在femfat.ini文件中。

最大节点数
最大单元数
最大节点标号
最大单元标号



有限元模型数据

选择文件格式 (File Format) 之后, 在输入框内 (File Name) 指定有限元模型文件的路径和名称。

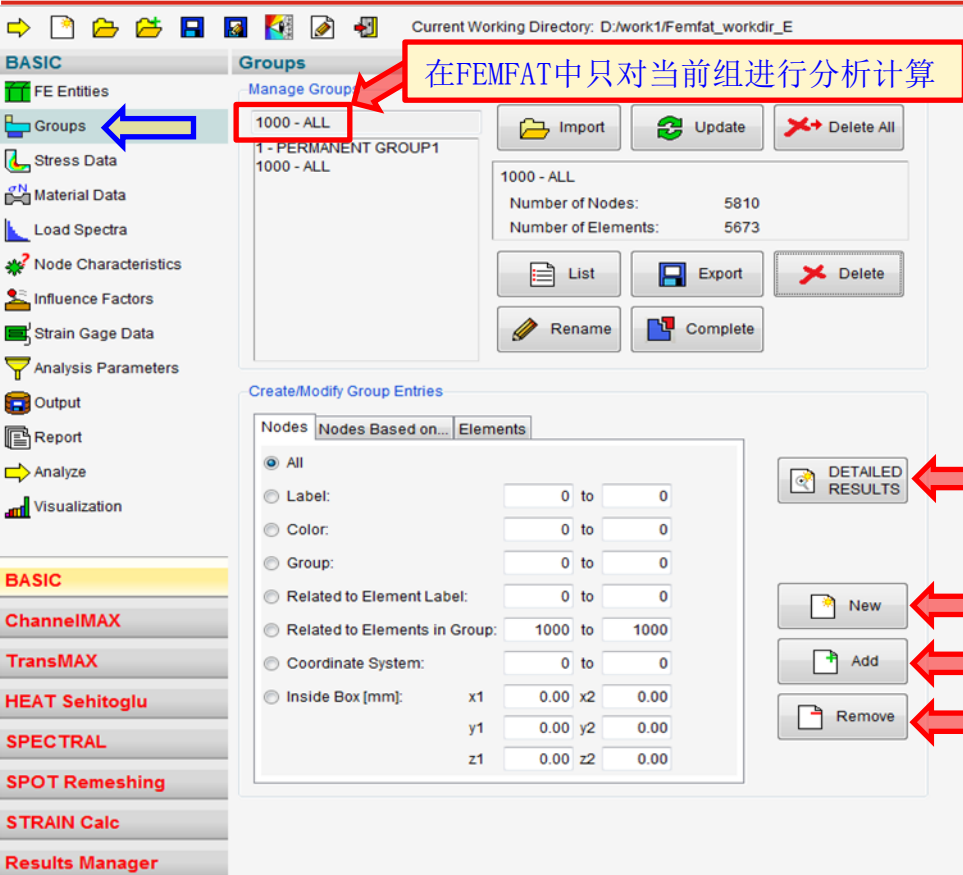
启动后处理Visualizer

启动焊点定义

启动焊缝定义

调入模型的信息包括节点、单元、物理属性、组、焊点、焊缝的数量

1. 输入的有限元模型的最大尺寸在“Modify Dimension”框中以总体坐标系显示, 用户可以检查长度单位是否是[mm]。
2. 如果模型的长度单位不是[mm], 可以乘以一个系数来修正。需要填写在方框内, 并点击“Multipl”使之生效。如果当前模型长度单位为1 m [=1000 mm], 则放大系数应为1000



Groups组的定义

可以由单元或者节点形成组，来定义需要进行分析的结构区域。当然也可以从其它有限元软件中事先定义好组然后导入到FEMFAT中。

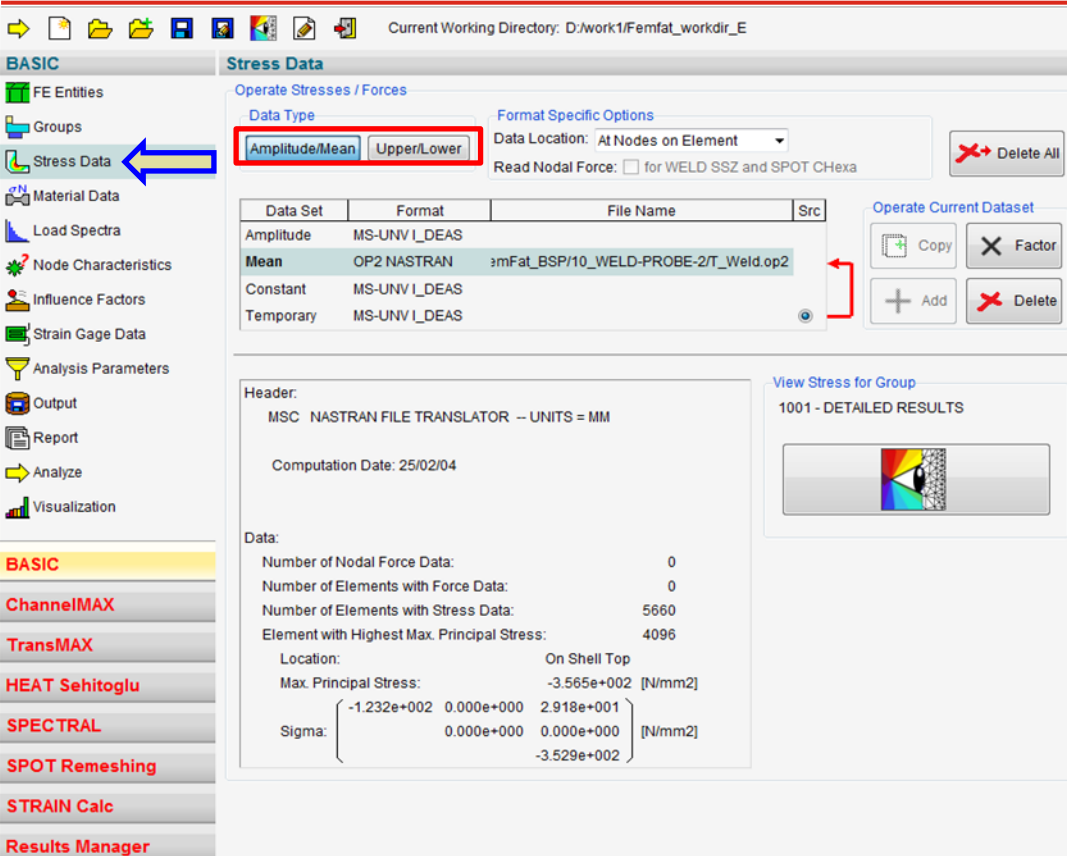
将创建一个名为“Detailed Results”的组，对应于设置。此组节点的以下附加的详细信息将输出到fps文件中：

- S/N曲线
- Haigh diagram
- 应力历程（用于MAX 分析）
- 损伤时间特性（用于MAX分析）

建立新组

将节点/单元添加到组中

移除组中的节点/单元

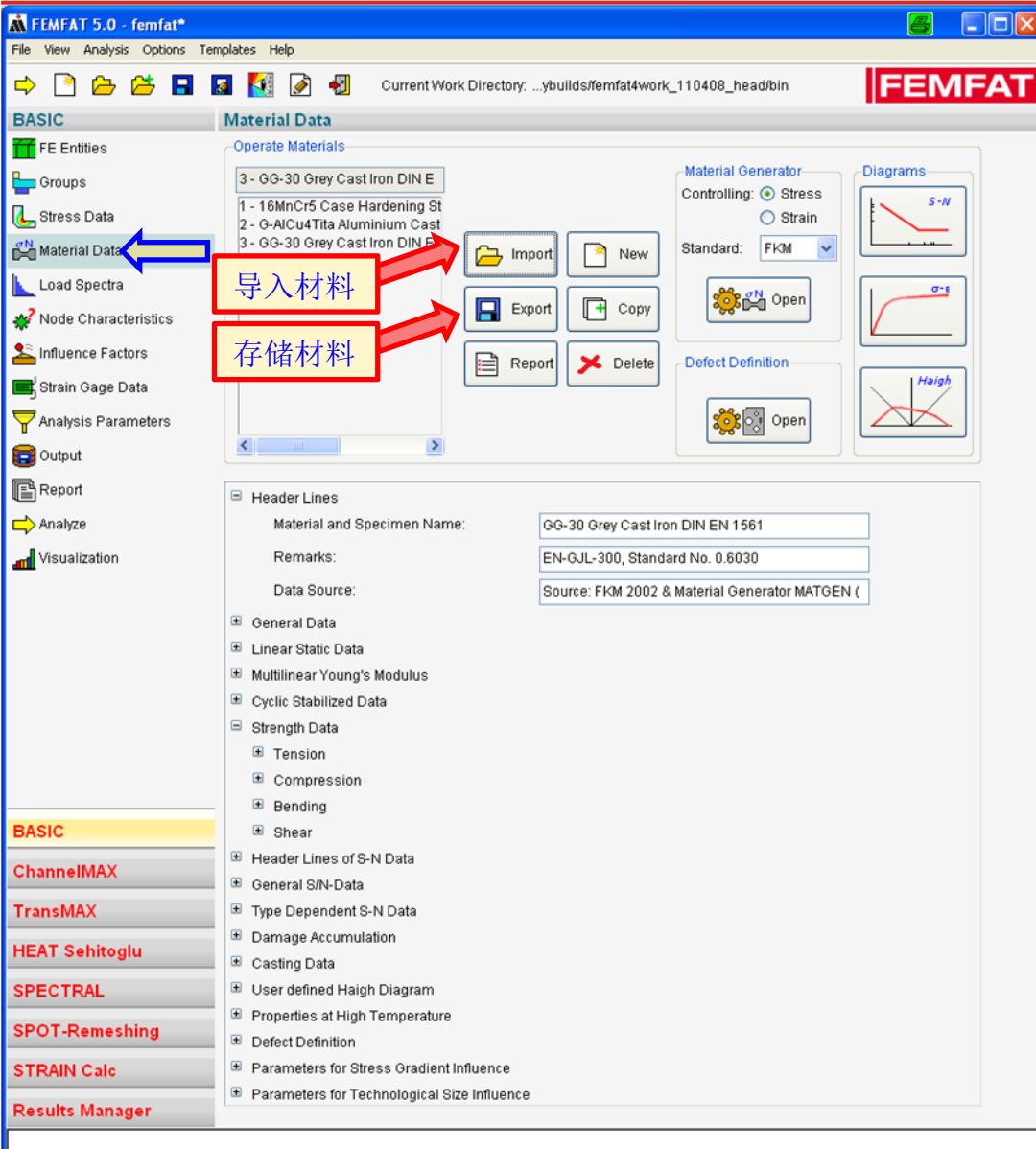


应力数据

FEMFAT使用应力幅值和平均应力进行损伤分析。也可以导入最大和最小应力，FEMFAT将自动地将其转化为幅值和平均应力。除平均应力之外，也可以考虑恒定应力（例如，螺栓预应力、残余应力等）。

提供三个内部存储区，可以用于保存和编辑应力：

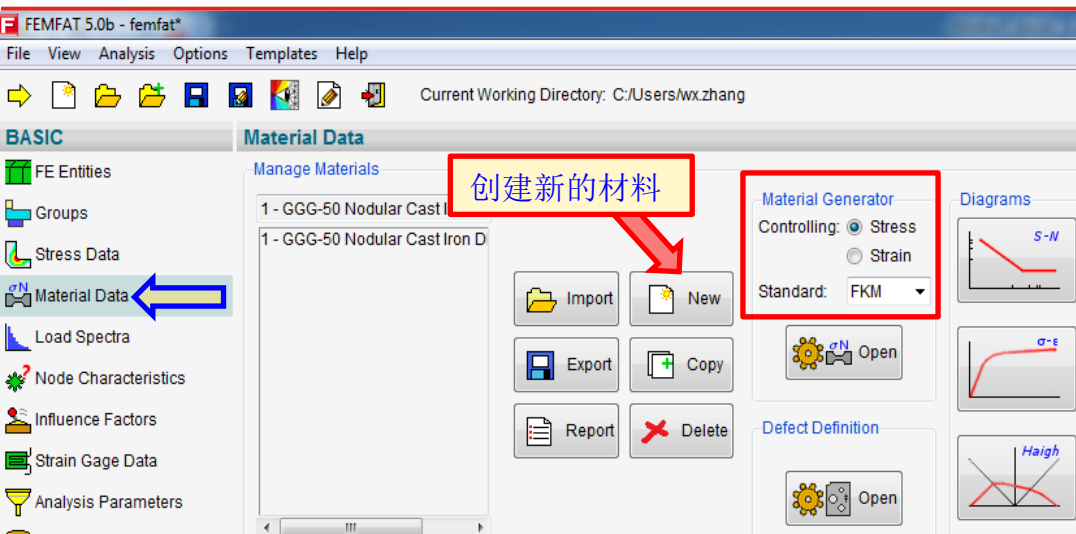
- 应力幅值或最大应力
- 平均应力或最小应力
- 恒定应力(例如，螺栓预应力)
- 临时应力，允许以基本载荷工况进行载荷组合，但不用于分析。



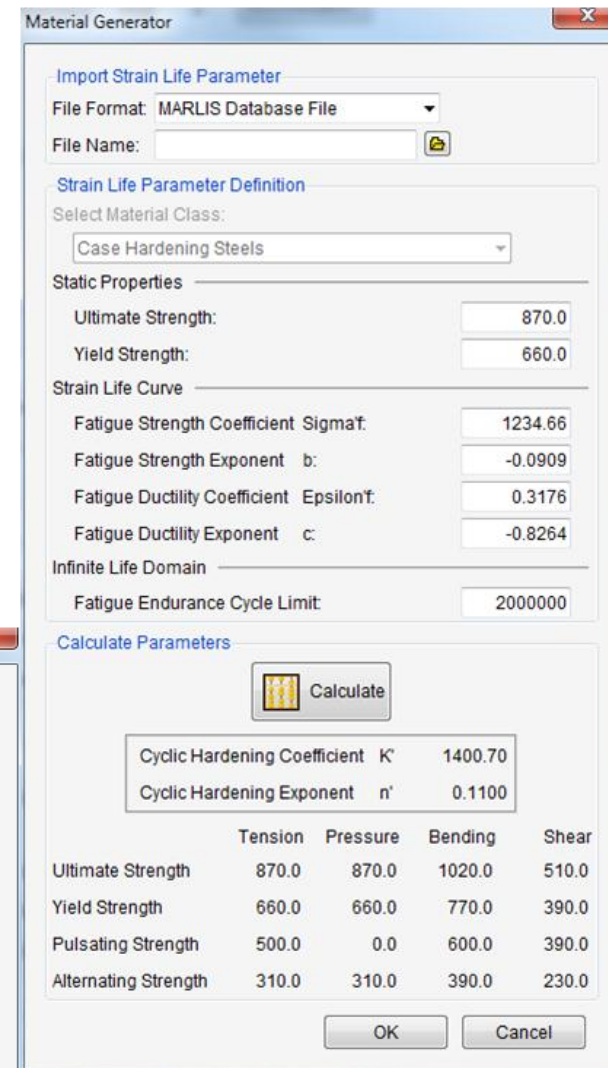
材料数据

有数种方法为FEMFAT提供分析所需的材料数据：

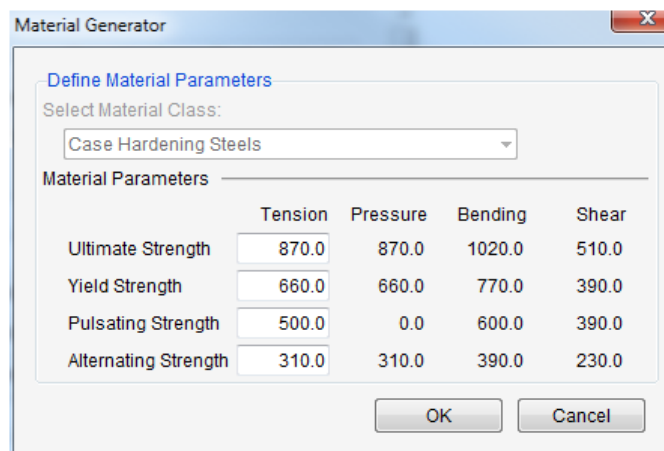
- 在材料数据库中有绝大部分分析所需的材料。
- 对于特殊材料，如果数据不足，或者现有材料中的数据需要稍作修改，推荐使用material generator。
- 显示的材料数据可以手动输入。



基于应变的材料生成器



基于应力的材料生成器



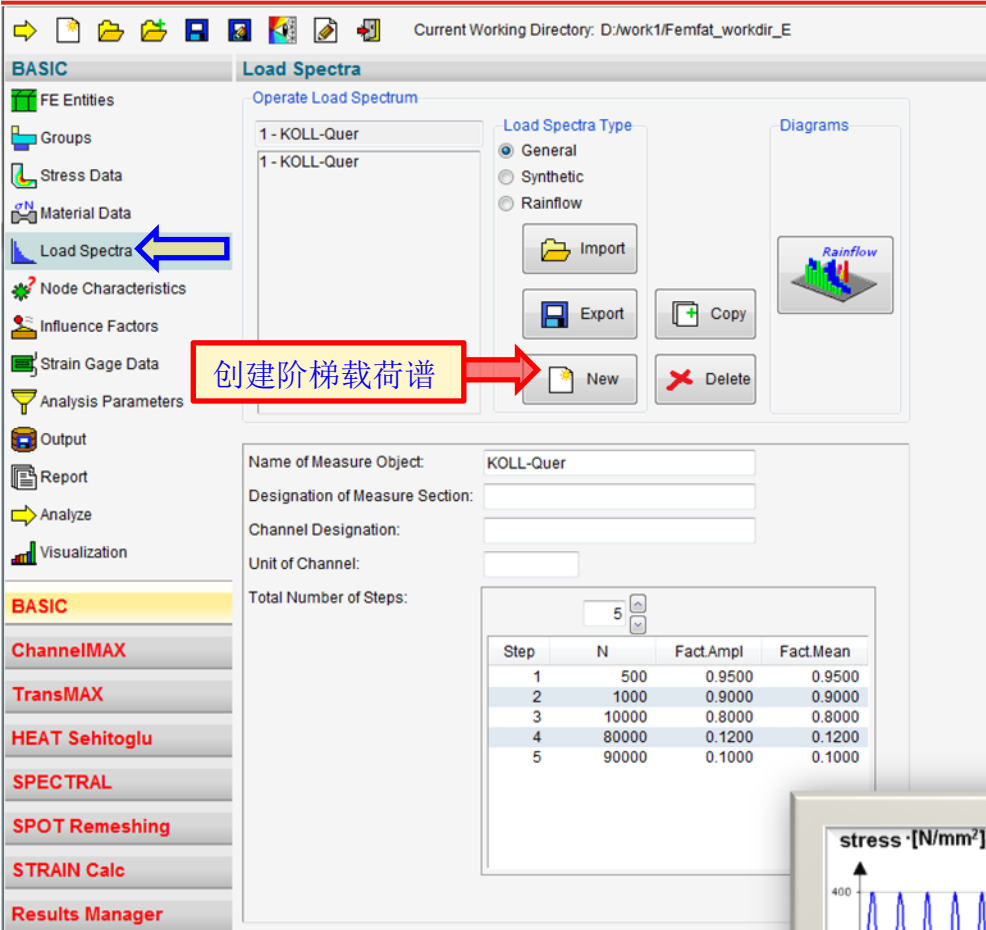
以材料生成器创建材料数据

可以按照两种规范进行材料的设置:

- FKM (默认)
- TGL

以及两种方法:

- stress-based 基于应力
 - strain-based 基于应变
- 进行SN曲线参数的设置。



创建一个阶梯载荷谱

1. 阶梯载荷谱的全部步数可以用 来指定。
2. 输入载荷循环数 ()
3. 输入应力幅值系数 ()
4. 输入平均应力系数 ()

定义载荷谱的实例 (2个不同的阶段):

阶段1, -200N至400N, 循环 10^3 次

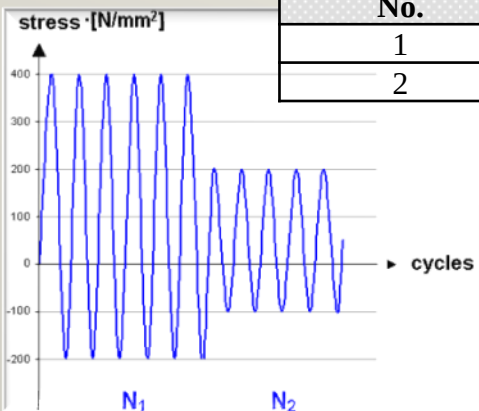
阶段2, -100N至200N, 循环 10^4 次

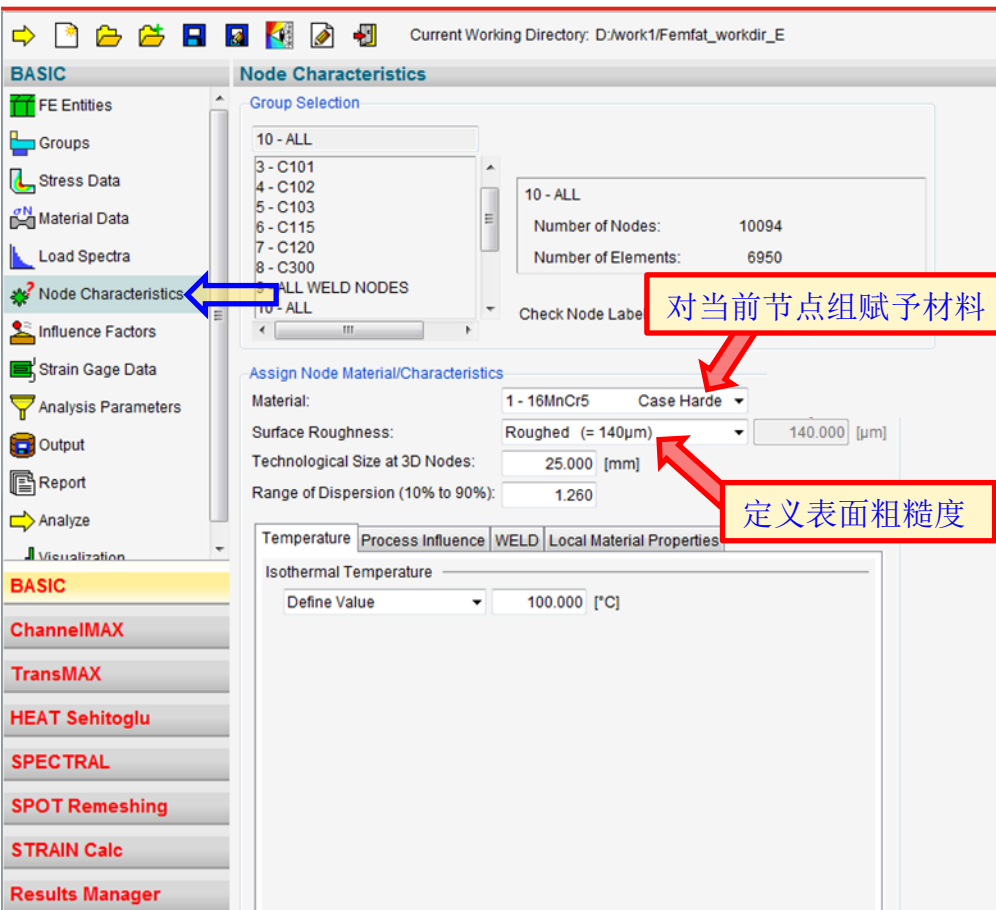
则对应载荷:

载荷	幅值 [N/mm ²]	平均应力 [N/mm ²]
1	300	100
2	150	50

单位应力100 N/mm², 表格中输入如下:

No.	N (-)	F_A (-)	F_M (-)
1	1,000	3.0	1.0
2	10,000	1.5	0.5





节点属性

可对节点组赋予各种参数

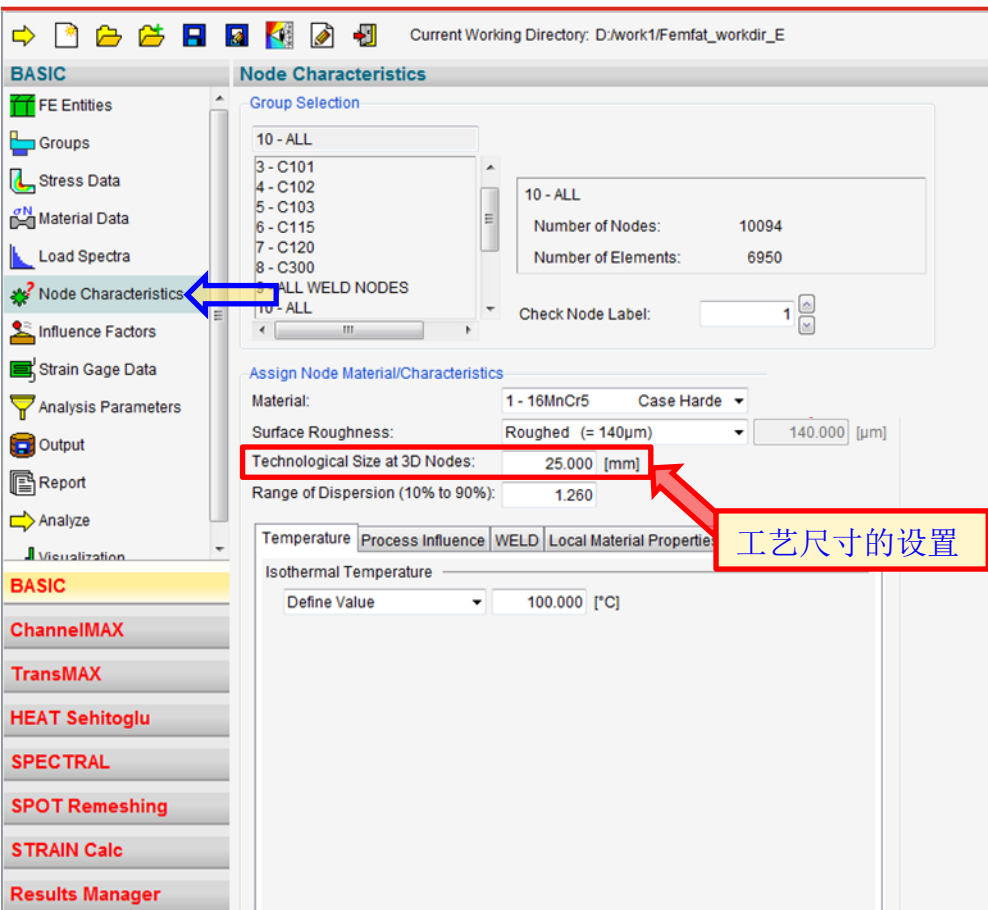
定义表面粗糙度

组内节点可以用两种方式指定表面粗糙度：

1. 直接输入表面粗糙度值 R_t 或者 R_z ，单位 $[\mu\text{m}]$ 。
2. 从表面粗糙度框内选择预设值：

Polished	: 对应于表面粗糙度 $=2\mu\text{m}$
Grinded	: 对应于表面粗糙度 $=10\mu\text{m}$
Smoothed	: 对应于表面粗糙度 $=60\mu\text{m}$
Roughed	: 对应于表面粗糙度 $=140\mu\text{m}$
As Cast	: 对应于表面粗糙度 $=200\mu\text{m}$
User defined Default:	对应于表面粗糙度 $=1\mu\text{m}$

当Influence factors菜单项中Surface Roughness激活之后，所选择的表面粗糙度值将在计算中予以考虑，材料表面越粗糙疲劳强度越低。材料试样的表面粗糙度为默认值（ $1\mu\text{m}$ ），如果Surface Roughness 没有激活的话，则应用这个默认值。



在实体单元节点上定义工艺参数

对于3D单元节点必须给定相关壁厚。板壳单元节点的工艺参数所假设的壁厚由相邻板壳单元的壁厚来决定。

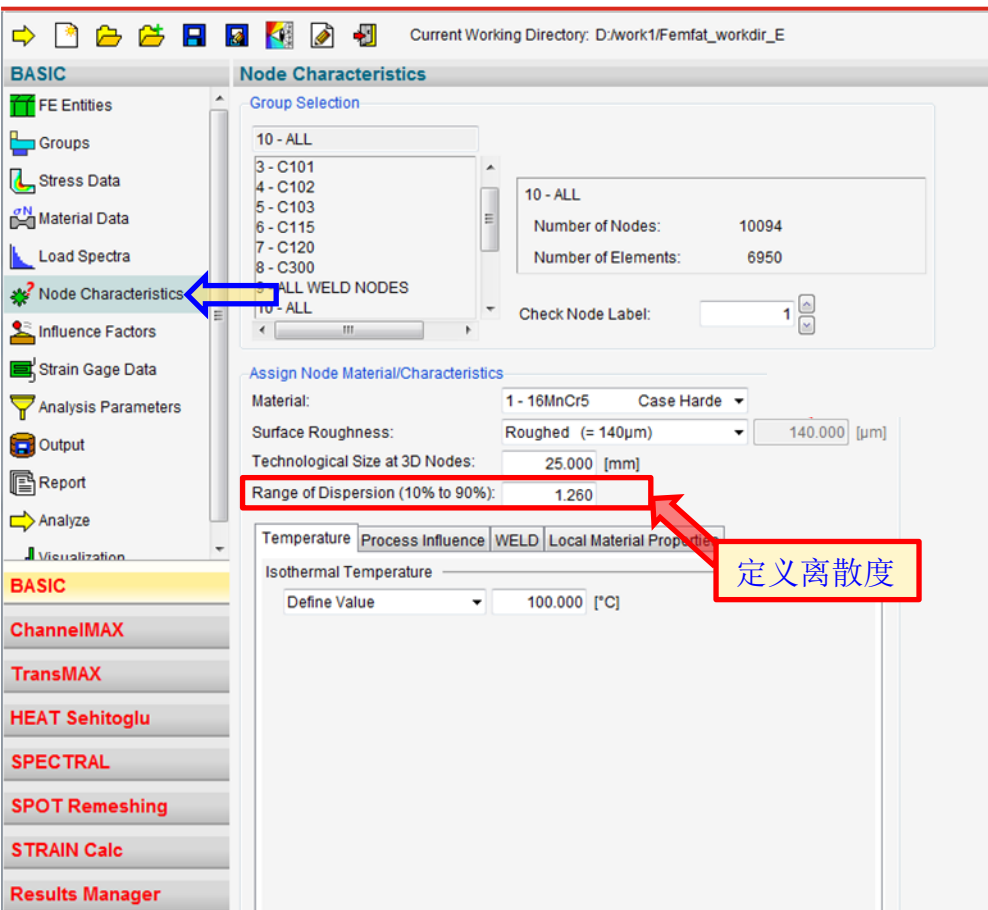
参数的设定公式是：

$$d_{eff} = \frac{4 \cdot Volumen}{Oberfläche}$$

对于特殊截面，工艺参数可从如下的表中获得：

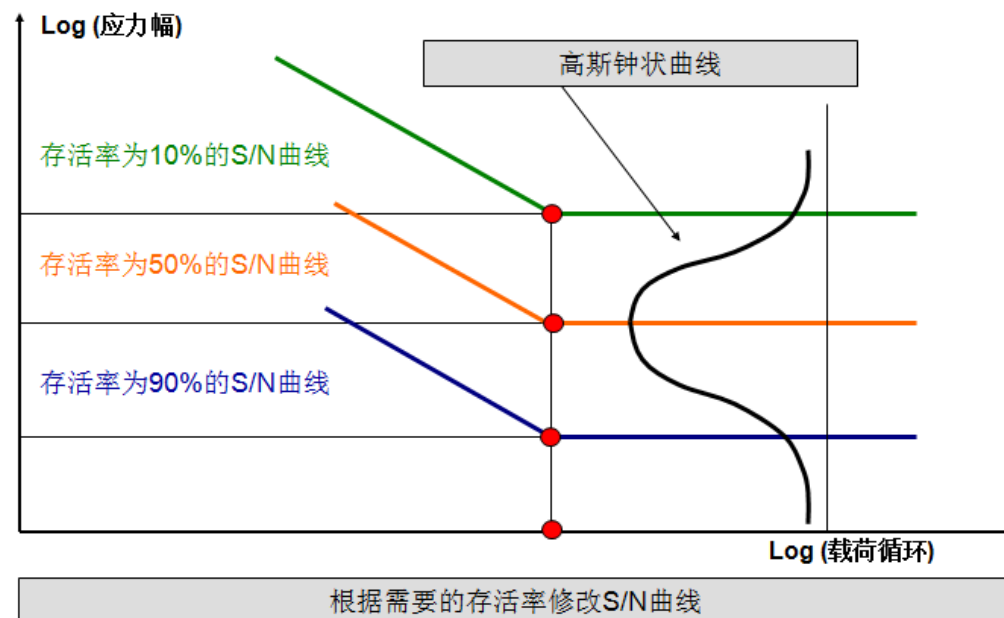
横截面的类型					
d_{eff}	d	$2s$ *	$2s$ *	$\frac{2b \cdot s}{b + s}$ *	b

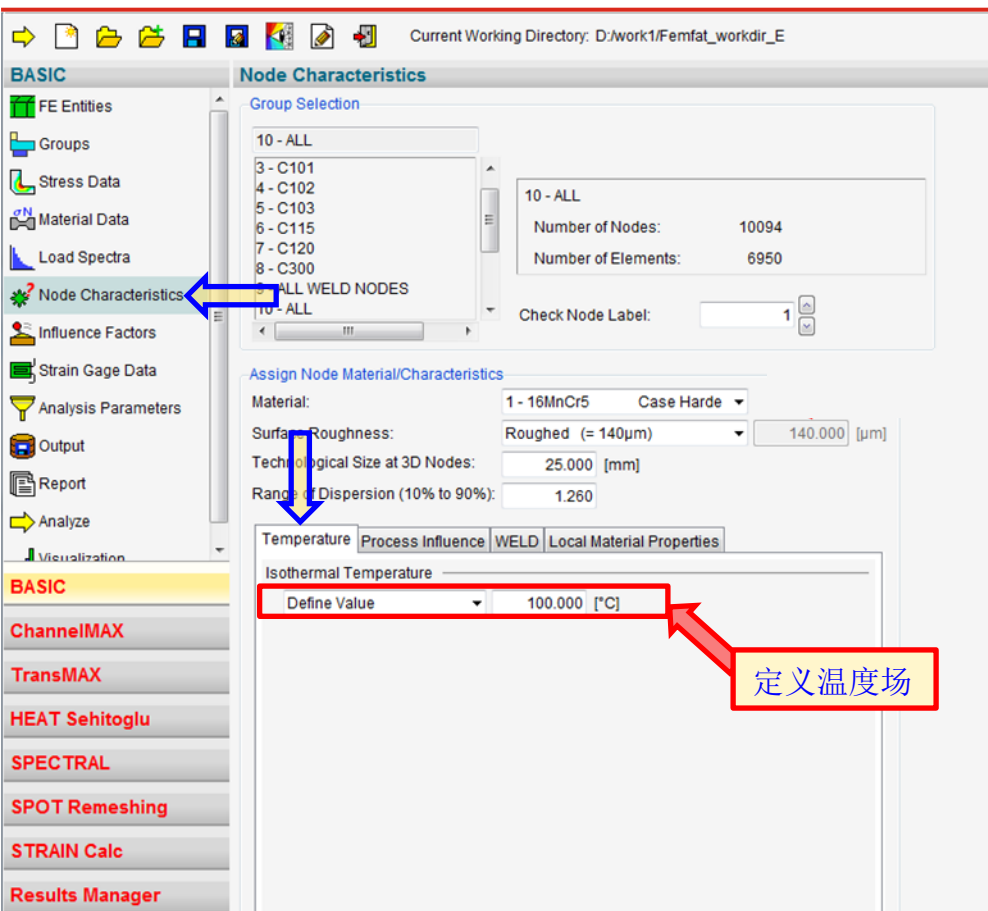
对于高碳结构钢、细晶粒结构钢、标准回火钢、一般铸钢和铝材，工艺参数与壁厚s相同。 $d_{eff} = s$



定义离散度(10%和90%的比值)

离散度定义为10%存活概率下的疲劳强度与90%存活概率下的疲劳强度的比值。FEMFAT中默认值为1.26。



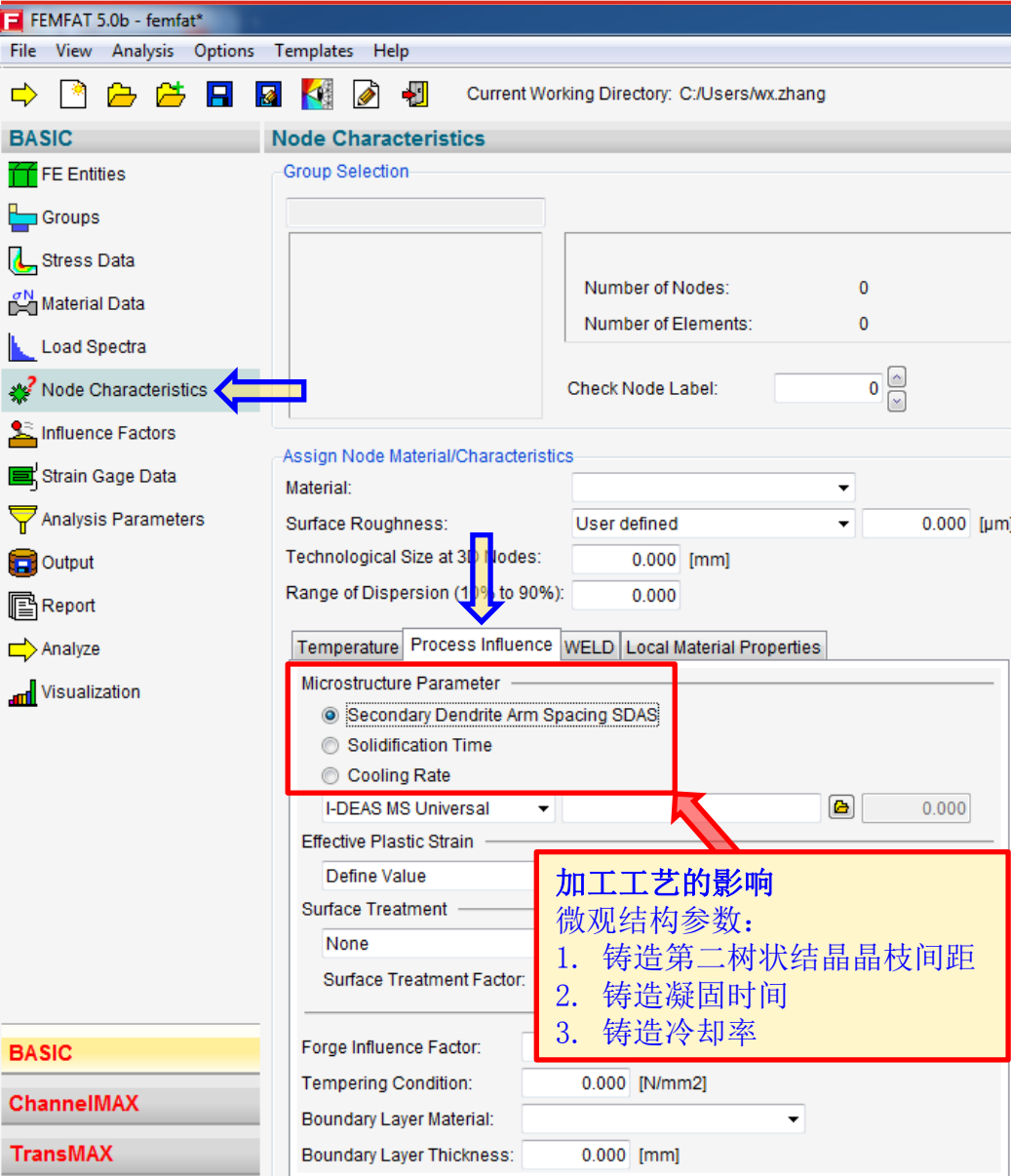


定义温度场

为了在疲劳分析中考虑温度的影响，须在节点上定义温度。温度越高对于零部件的疲劳性能越不利。对于不同的节点可以定义不同的温度。如果某个节点没有定义温度，则将自动赋予室温（20° C，材料试样的温度）。

在FEMFAT中有两种方式给当前组的节点设定温度：

1. 利用Define Value可以为一个组中的所有节点定义一个恒定的温度。将零部件细分到不同温度组中，可以定义简单的温度分布，温度单位为[° C]。
2. 对于复杂的温度分布，比如温度分布来源于有限元分析，可以以不同的文件格式导入节点温度。注意所导入的温度值只被赋给当前组中的节点。



微观结构参数

在每次FEMFAT运算中只能考虑三个参数选项中的一个:

1. 铸造第二树状结晶晶枝间距
2. 铸造凝固时间
3. 铸造冷却率

FEMFAT计算总是采用结晶晶枝间距选项，如果选择了铸造凝固时间和冷却率选项，计算时均转化为结晶晶枝间距选项。

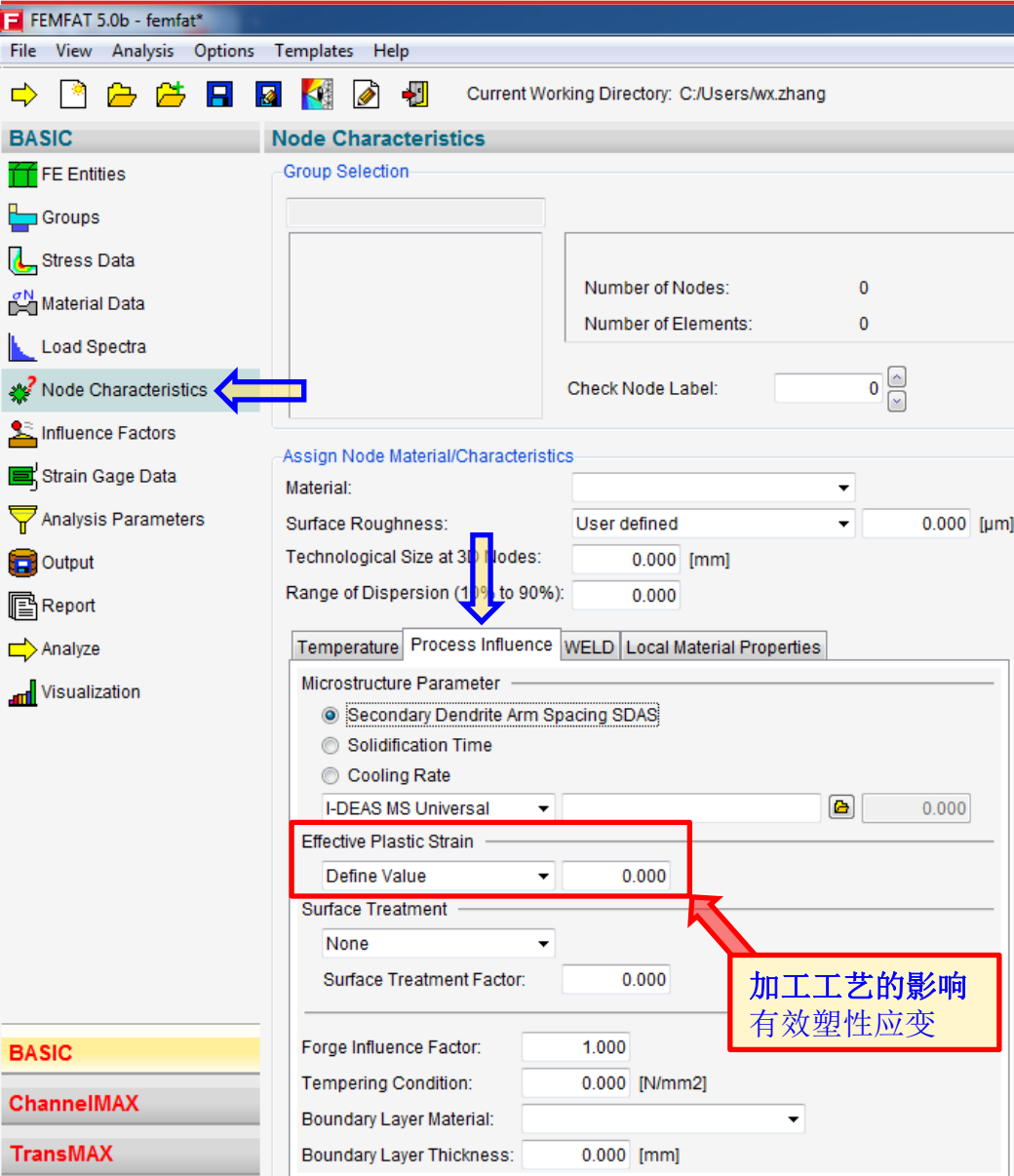
如果给当前组的节点赋予了铸造凝固时间和冷却率，但是在对应的材料属性中没有(220)的材料数值，则将使用如下的默认值:

1. 时间系数 $K = 7.1$
2. 时间指数 $n = 0.38$
3. 冷却率系数 $C = 39.4$
4. 冷却率指数 $\phi = 0.317$

加工工艺的影响

微观结构参数:

1. 铸造第二树状结晶晶枝间距
2. 铸造凝固时间
3. 铸造冷却率

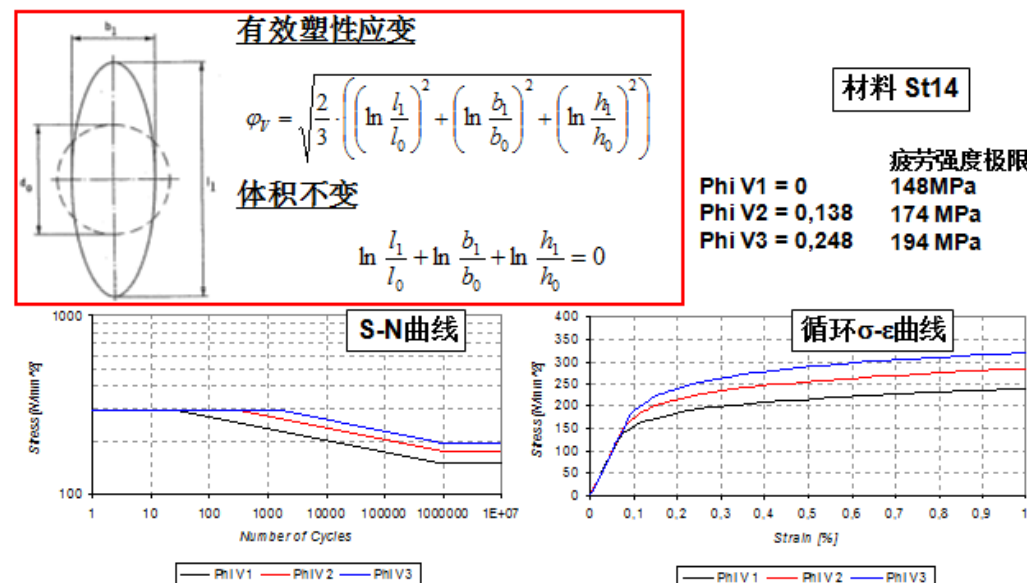


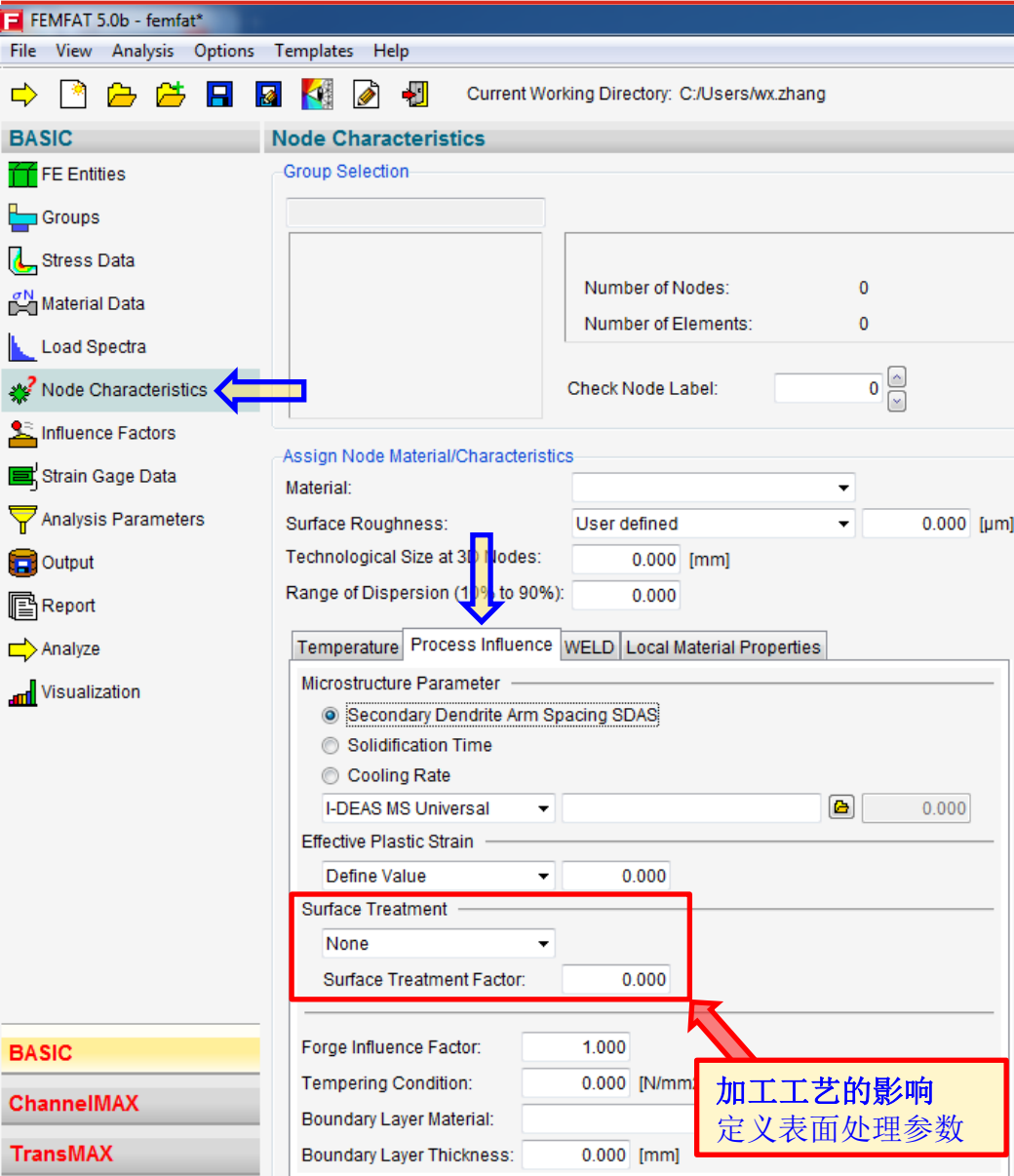
冲压影响模拟 – 有效塑性应变

有效塑性应变可以用两种方式分配给节点：

1. Define value: 在此选项下用户可以为组内所有节点指定恒定的有效塑性应变值。
2. 可以从LS-Dyna (ASCII)和Abaqus ODB导入有效塑性应变值。

一般来说，冲压成型仿真的有限元网格与疲劳分析的网格模型不相同。需要在疲劳分析网格上映射板壳厚度、有效塑性应变和内部应力。这些操作可以直接在LS-Dyna内完成。





定义表面处理

定义表面处理框内有以下选项：

1. None 无表面处理
2. Shot Peened 喷丸
3. Rolled 滚压
4. Carburized 渗碳
5. Nitrided 渗氮
6. Inductive Hardening 感应淬火
7. Flame Hardening 火焰淬火

当选择其中的某个选项后，相应的标准值（例如，TGL标准）将予以应用，影响参数将在局部S/N曲线中予以考虑。上述所列的选项，如果在Influence factors菜单项中没有被激活，则在分析中被忽略。

定义表面处理系数

用户也可以根据自己的经验直接输入一个系数来修改材料疲劳强度（具体数值请参照下一页的PPT表格）。

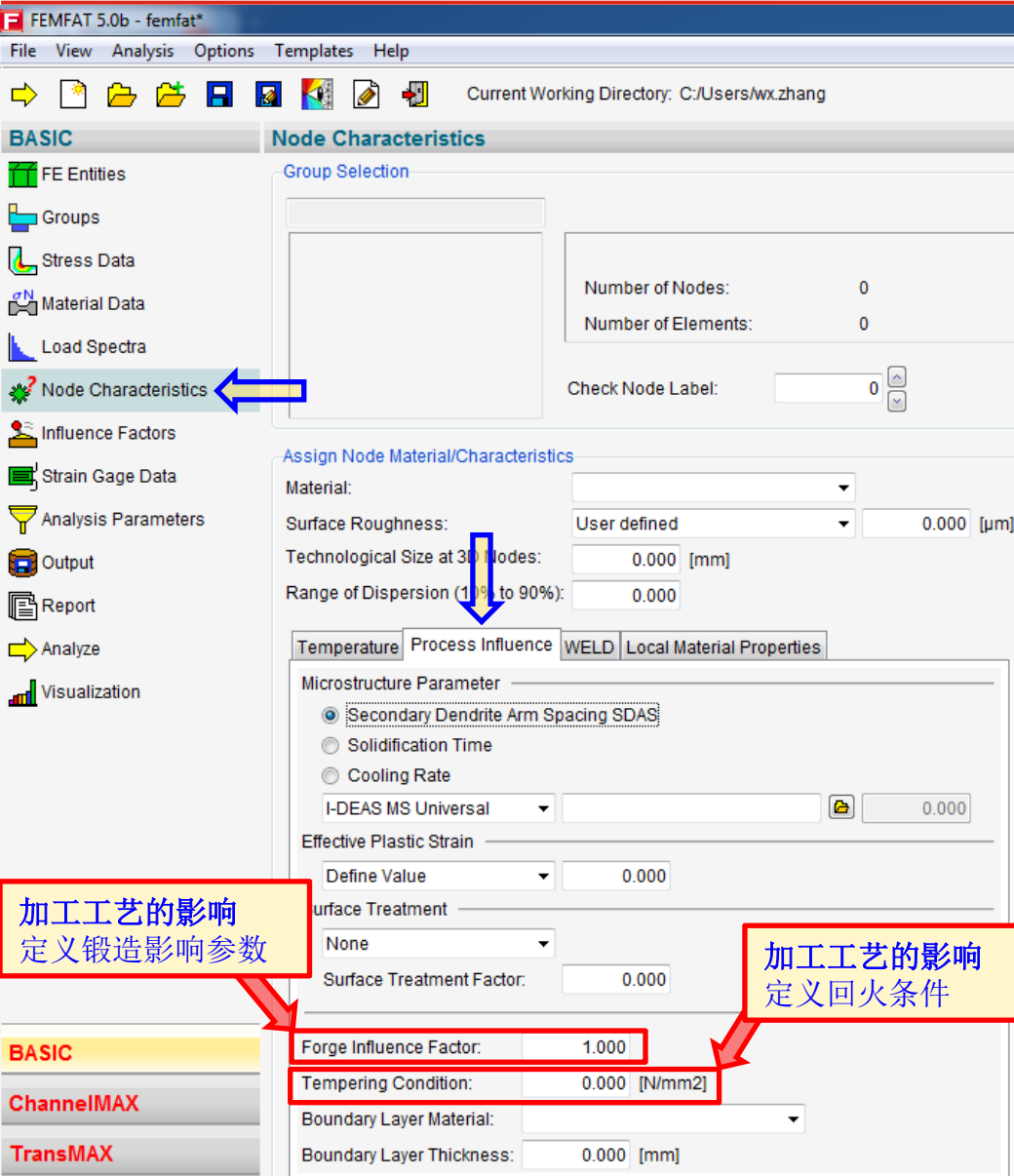
加工工艺的影响
定义表面处理参数

定义表面处理 – 从下表可以看到哪些表面处理对疲劳极限有影响，表面硬化影响系数 (KV) 是工艺方法的函数值，是作为可锻钢质和铝质材料的指导值。

可锻钢质和铝质材料表面处理影响			
方法	试样		影响系数 (K _v)*
	类型	直径 [mm]	
化学热处理法			
渗氮法 渗氮深度 0.1至0.4 mm 表面硬度 700至1000 HV 10	无凹槽	8 - 15 30 - 40	1.15 - 1.25 1.10 - 1.15
渗氮法 渗氮深度 0.1至0.4 mm 表面硬度 700至1000 HV 10	有凹痕	8 - 15 30 - 40	1.90 - 3.00 1.30 - 2.00
渗碳法 渗碳深度0.2至0.8 mm 表面硬度670至750 HV	无凹槽	8 - 15 30 - 40	1.20 - 2.00 1.10 - 1.50
渗碳法 渗碳深度0.2至0.8 mm 表面硬度670至750 HV	有凹槽	8 - 15 30 - 40	1.50 - 2.50 1.20 - 2.00
碳氮共渗 淬硬深度 0.2 to 0.4 mm 最小表面硬度 670 HV 10	无凹槽	8 - 15	1.80
机械法			
轧制，滚子硬化	无凹槽	8 - 15 30 - 40	1.20 - 1.40 1.10 - 1.25
轧制，滚子硬化	有凹槽	8 - 15 30 - 40	1.50 - 2.20 1.30 - 1.80
喷丸处理	无凹槽	8 - 15 30 - 40	1.10 - 1.30 1.10 - 1.20
喷丸处理	有凹槽	8 - 15 30 - 40	1.40 - 2.50 1.10 - 1.50
热处理			
感应淬火 火焰淬火 淬硬深度 0.9至1.5 mm 表面硬度51至64 HRC	无凹槽	8 - 15 30 - 40	1.30 - 1.60 1.20 - 1.50
感应淬火 火焰淬火 淬硬深度 0.9至1.5 mm 表面硬度51至64 HRC	有凹槽	8 - 15 30 - 40	1.60 - 2.80 1.50 - 2.50

© ECS / Discl

铸铁和铸铝材料表面处理影响			
方法	试样		影响系数 (K _V)*
	类型	直径 [mm]	
化学-热处理法			
渗氮法	无凹槽	8 - 15	1.15
		30 - 40	1.10
渗氮法	有凹槽	8 - 15	1.90
		30 - 40	1.30
渗碳法	无凹槽	8 - 15	1.20
		30 - 40	1.10
渗碳法	有凹槽	8 - 15	1.50
		30 - 40	1.20
机械法			
轧制，滚子硬化	无凹槽	8 - 15	1.20
		30 - 40	1.10
轧制，滚子硬化	有凹槽	8 - 15	1.50
		30 - 40	1.30
喷丸处理	无凹槽	8 - 15	1.10
		30 - 40	1.10
喷丸处理	有凹槽	8 - 15	1.40
		30 - 40	1.10
热处理法			
感应淬火 火焰淬火	无凹槽	8 - 15	1.30
		30 - 40	1.20
感应淬火 火焰淬火	有凹槽	8 - 15	1.60
		30 - 40	1.50



定义锻造影响参数

可以直接输入零部件S/N曲线修改系数。

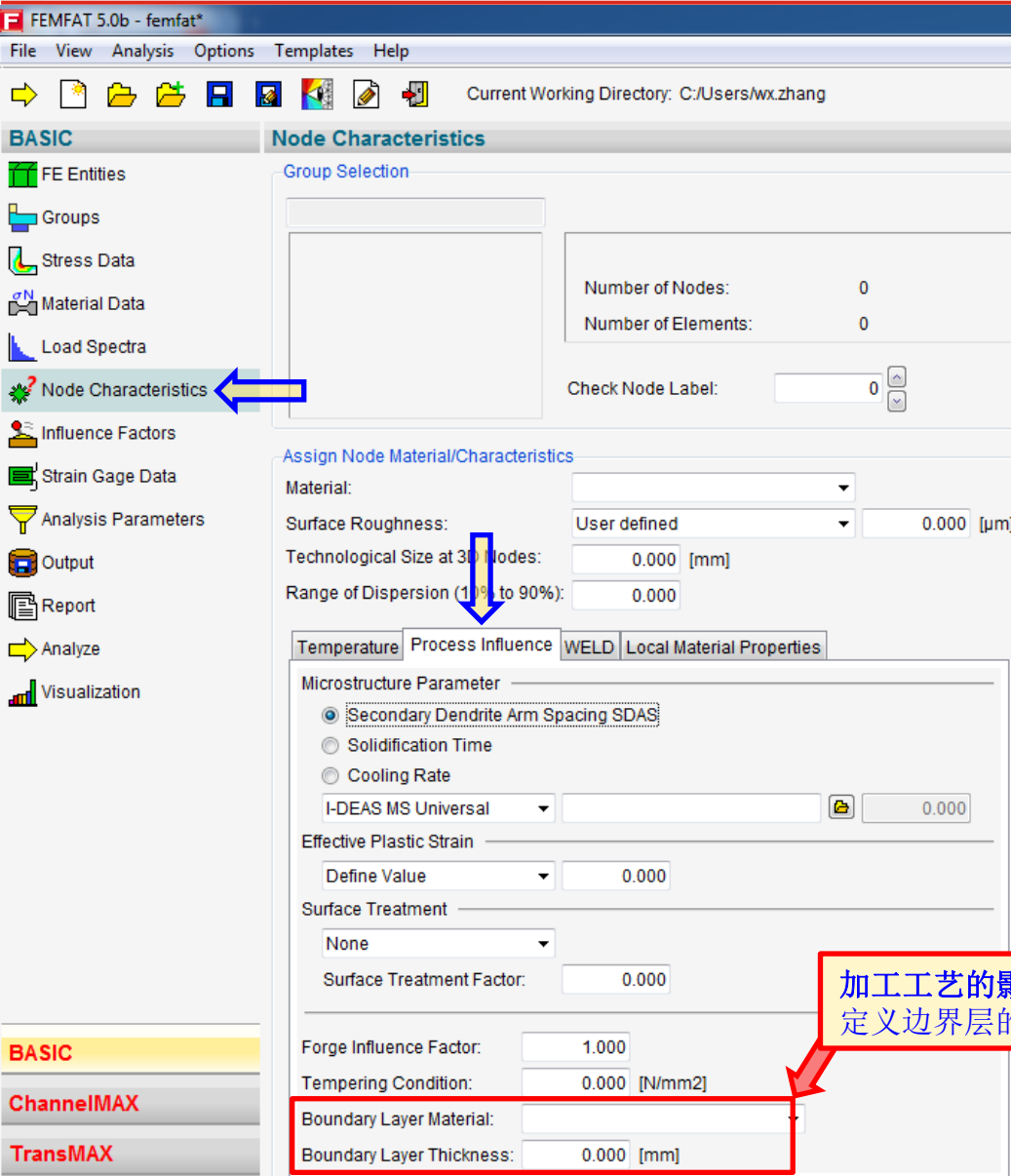
定义回火条件系数

可以指定回火钢抗拉强度。

根据所填写的系数，对于受影响的节点将调整S/N曲线到更高的材料强度。当回火条件系数所指定的节点是回火钢（材料等级16）时，则回火条件系数才会被考虑。对于其它种类的材料，回火条件系数将被忽略。

加工工艺的影响
定义锻造影响参数

加工工艺的影响
定义回火条件



定义边界层参数

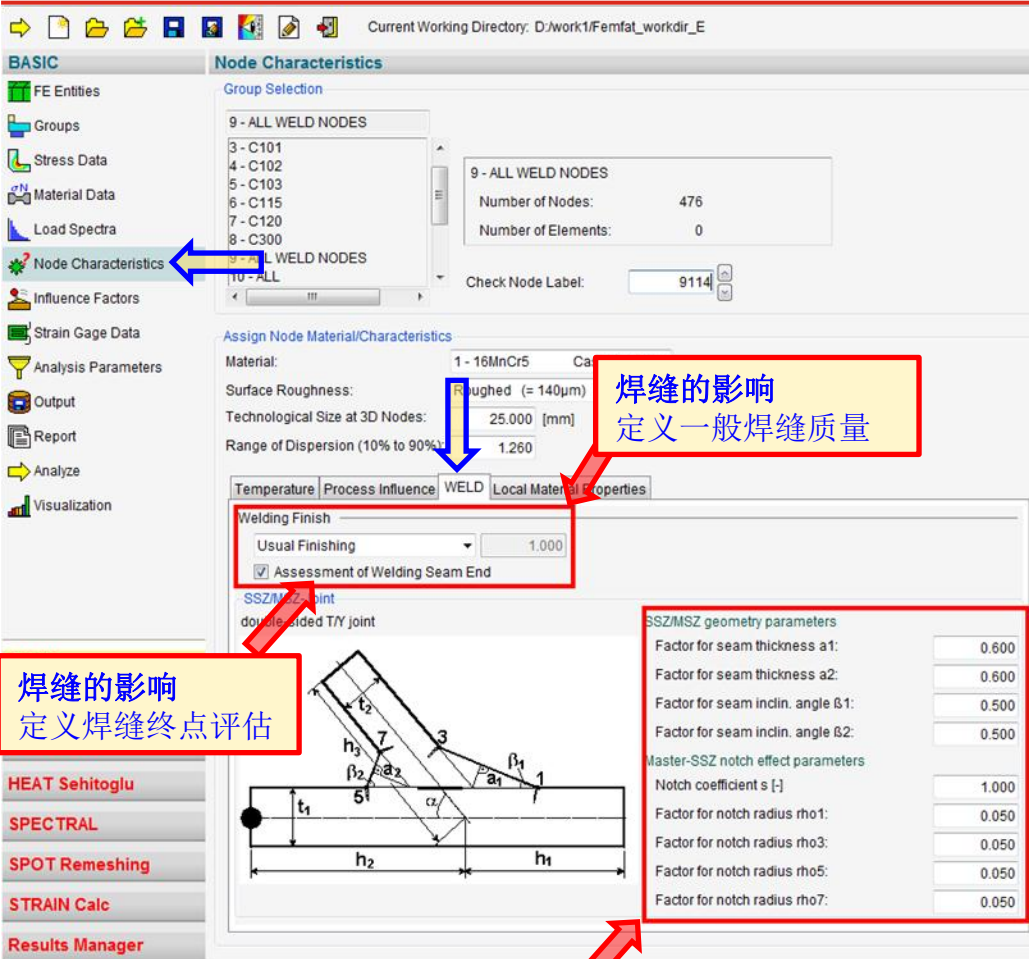
如果希望对边界层的节点进行分析，就必须定义基础材料、边界层材料和边界层的厚度。在这里将输入优质的边界层材料（无微观气孔）和边界层的厚度。

默认的边界层材料是基础材料，边界层厚度默认为零。如果未定义边界层，则表面节点将不进行边界层分析。

对于边界层分析，需要优质的边界层材料（无微观气孔）和基础材料（存在微观气孔）的材料数据。这些材料数据可以在软件材料生成器的交互界面中进行定义，或是在ffd文件中直接输入。

在“Group”菜单项里选择或者定义组，然后将边界层分析所需的材料与厚度赋给不同的组的节点，这样可以对不同的节点组定义不同的边界层厚度。

加工工艺的影响
定义边界层的材料与厚度



定义一般焊缝质量

焊缝质量对疲劳强度的影响是不同的，选项有：

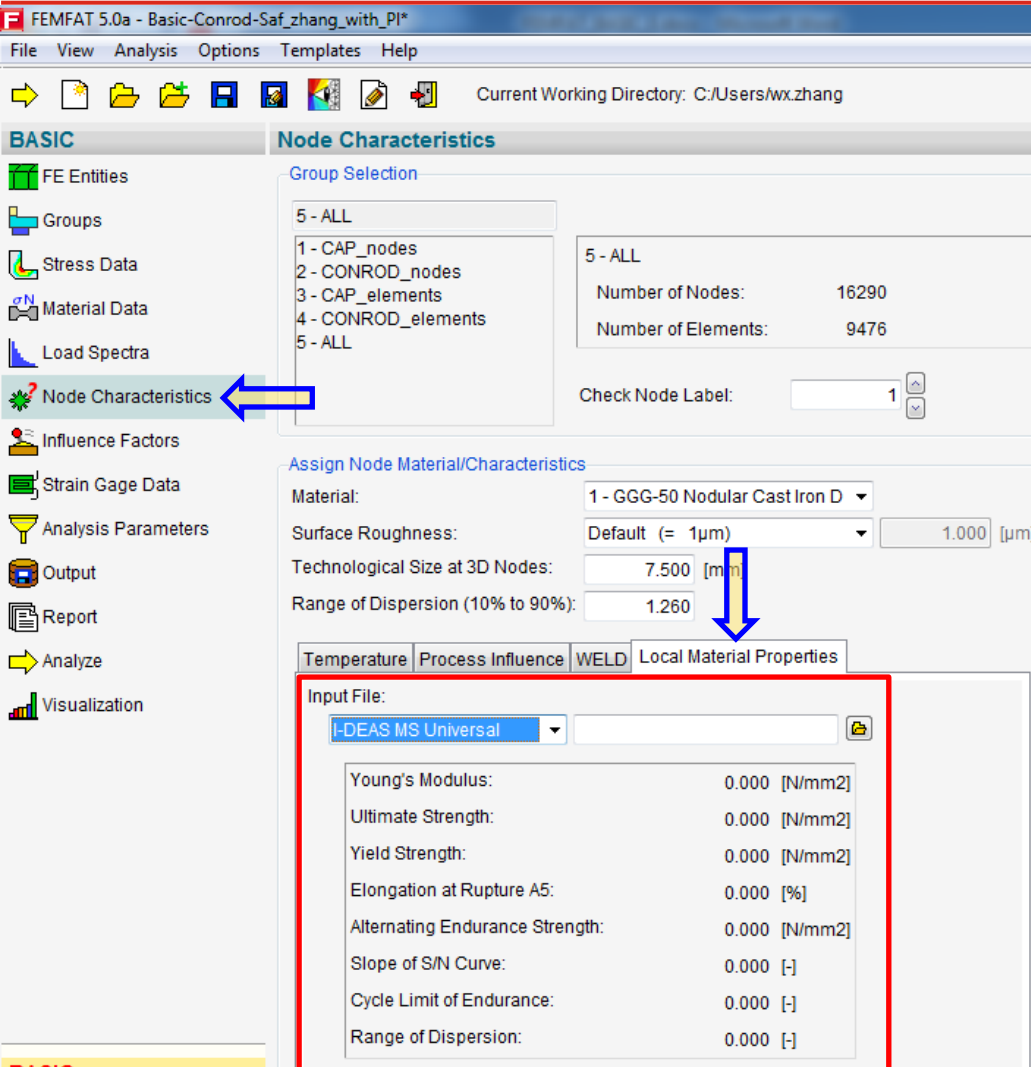
1. Usual Finishing - 这个对于所有焊缝节点的默认定义，对应于焊缝数据库内定义好的凹槽系数。
2. Special Finishing - 根据DIN15018的凹槽等级为标准，相应的凹槽系数将乘以质量系数 $f_{Quality} = 0.89$ 。

定义焊缝终点评估

由于焊缝终端的切口效应，焊缝终端对于作用在沿着焊缝轴向的动态垂直应力更加敏感。如果“焊缝终端评估设置”为“on”，则在FEMFAT WELD中将考虑此选项。此选项的默认设置为“on”。

定义SSZ/MSZ参数

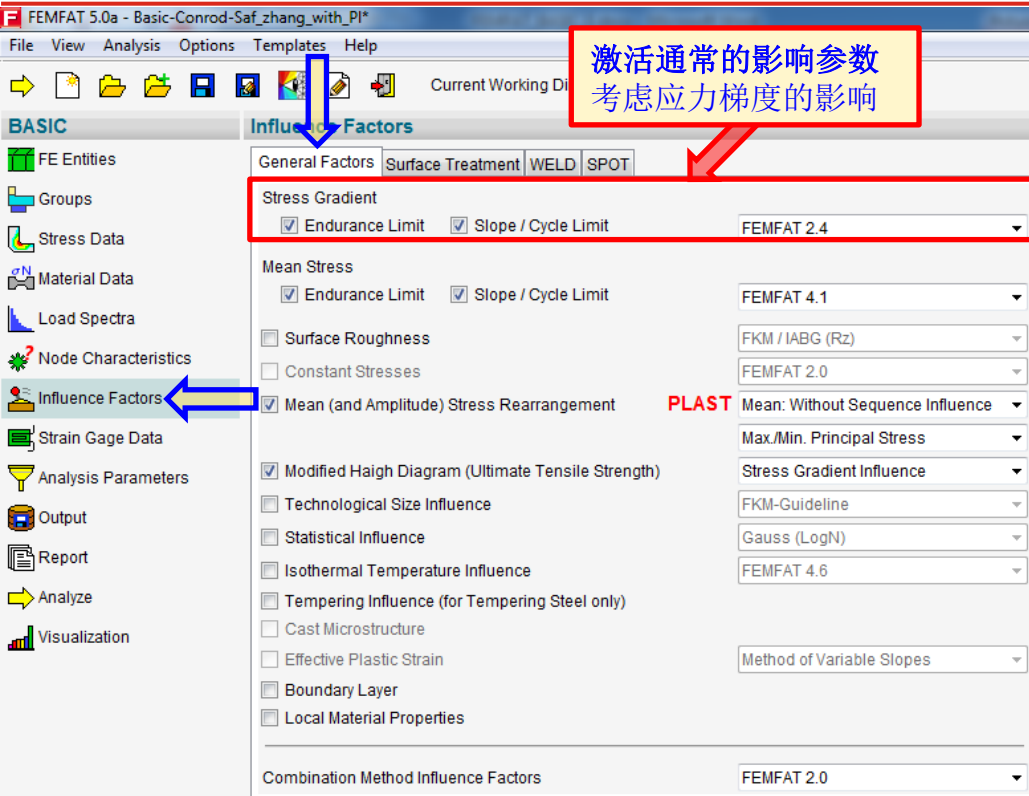
使用SSZ或MSZ法（基于力法对焊缝进行评估的一种方法）对焊缝节点进行评估（见FEMFAT WELD用户手册的4.1.2.4章节）。在这里可以对当前组的SSZ参数进行修改。



定义局部材料属性

定义局部材料属性

制造工艺（如铸造和成型等）由于热量的输入、冷却时间、冷却的速率和成型角度等等的原因，改变了材料局部的微观结构。因此在零部件内部的局部材料属性会有或多或少的差别，这些将对材料的损伤寿命有很大的影响。一些铸造模拟软件（如：Magma 和 Wincast）可以计算和输出材料的局部属性，如杨氏模量、抗拉强度和屈服强度。FEMFAT可以处理这些局部材料属性，并在疲劳损伤分析中予以考虑。材料局部参数的分布目前只能以在I-DEAS 文件格式输入。



激活影响参数（通常的）

FEMFAT提供了一些列选项可以进行快速参数研究和对参数的影响进行比较。各种影响系数只有处在被激活的状态，才能在分析中予以考虑。

考虑应力梯度的影响

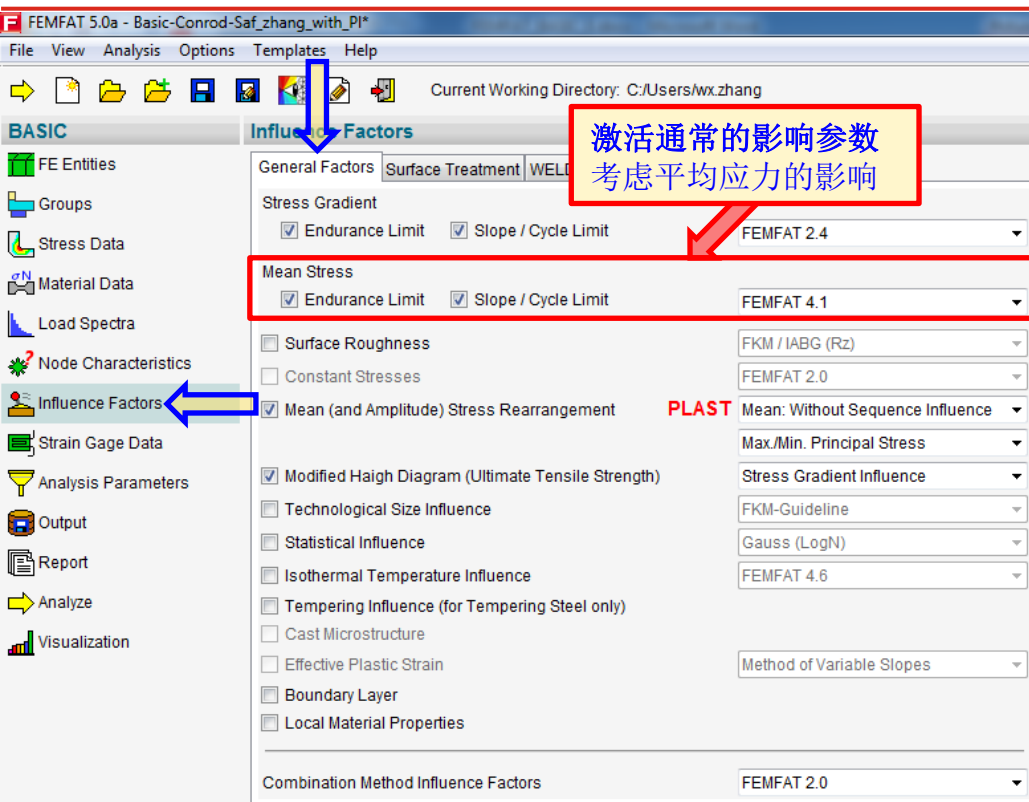
1. 激活之后，凹槽附近应力梯度的支撑效应将在分析中予以考虑。每个节点上的应力梯度将从线性应力分析结果中计算出来。
2. 不激活此选项，将使用凹槽处的线性应力来进行损伤值分析、耐久安全系数和静态过载安全系数的分析。
3. 通常情况下，应力梯度将影响材料的疲劳极限、局部S/N曲线的斜率和疲劳循环极限。
4. 对于应力梯度的影响，有数种基于材料线弹性假设的可行的分析方法。FEMFAT提供了四种选择：

IABG

Stieler

FEMFAT 2.4 （默认方法）

FKM guideline

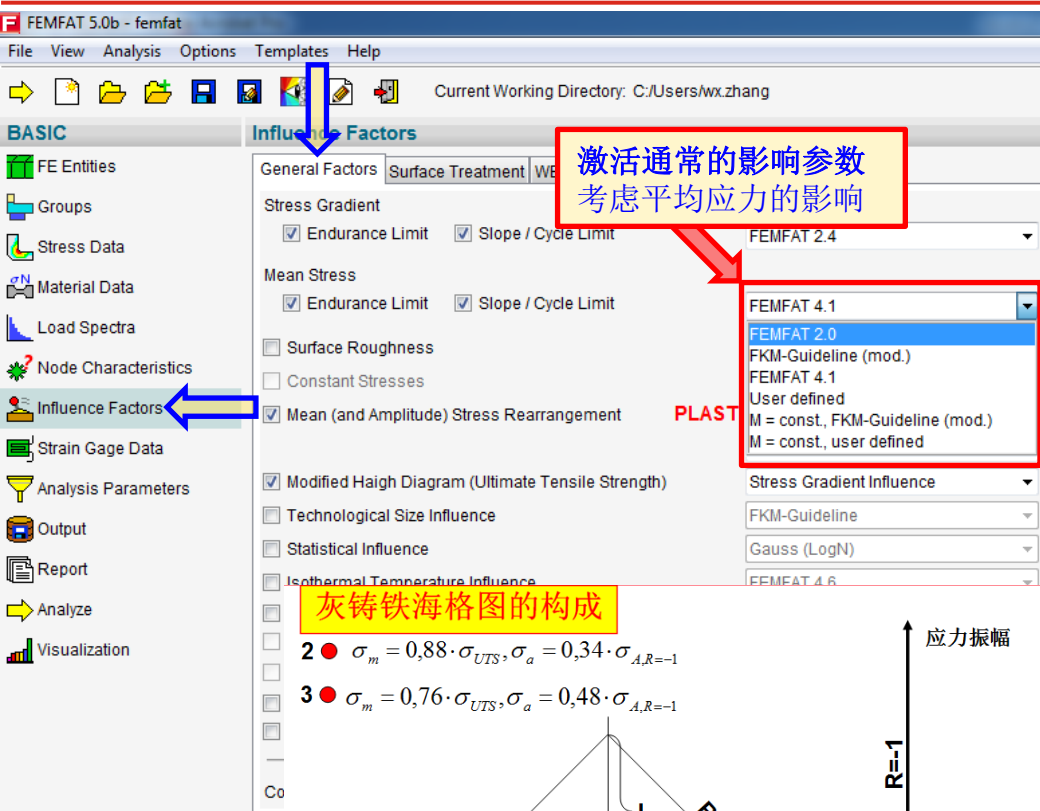


考虑平均应力的影响

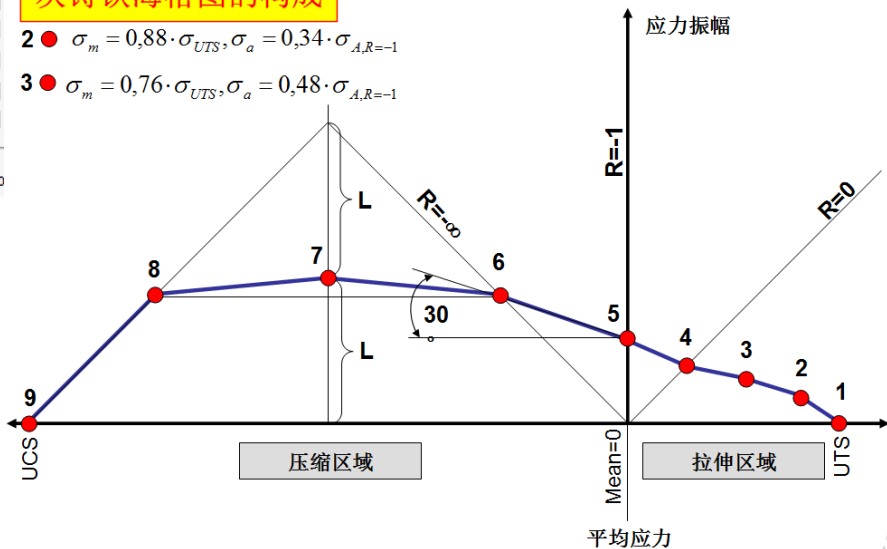
1. 当不激活平均应力的影响时，在分析中即使已定义了平均应力，也只考虑应力幅值的影响。
2. 通常情况下，平均应力将影响疲劳极限、局部S/N曲线斜率和疲劳循环极限。
3. 平均应力影响的计算方法，FEMFAT 提供了一些列选项用于编辑海格图（Haigh Diagram）：
 - a) FEMFAT 2.0
 - b) FKM guideline (mod.)
 - c) FEMFAT 4.1（默认方法）
 - d) User-defined
 - e) $M = \text{const.}$, FKM guideline (mod.)
 - f) $M = \text{const.}$, user-defined

斯太尔工程中心开发了用于考虑平均应力影响的方法，FEMFAT 方法：

通常可以从史密斯图和海格图，来获知拉/压试棒在准静态单轴受力状态下平均应力对疲劳强度的影响。在真实的零部件上平均应力通常不是一维的，而是二维或是三维的。在通常情况下零部件的平均应力张量与幅值张量不是成正比的，例如：车架在重力作用下（Z向）并受到横向受力时（Y向）。通常采用的典型等价应力法，由于等价应力的符号总是正的，因此平均应力总是位于海格图的的右侧。在这种情况下相对于纯拉/压疲劳强度来说，零部件的疲劳强度总是被向下进行了修正。特别是对于有着更高的压应力动态值的铸造材料来说，如果采用上述的修正方法的话将导致比较保守的设计。为考虑这种情况，ECS开发了用于调整在零部件节点上的平均和幅值应力张量对于S/N曲线的影响的FEMFAT方法。



灰铸铁海格图的构成

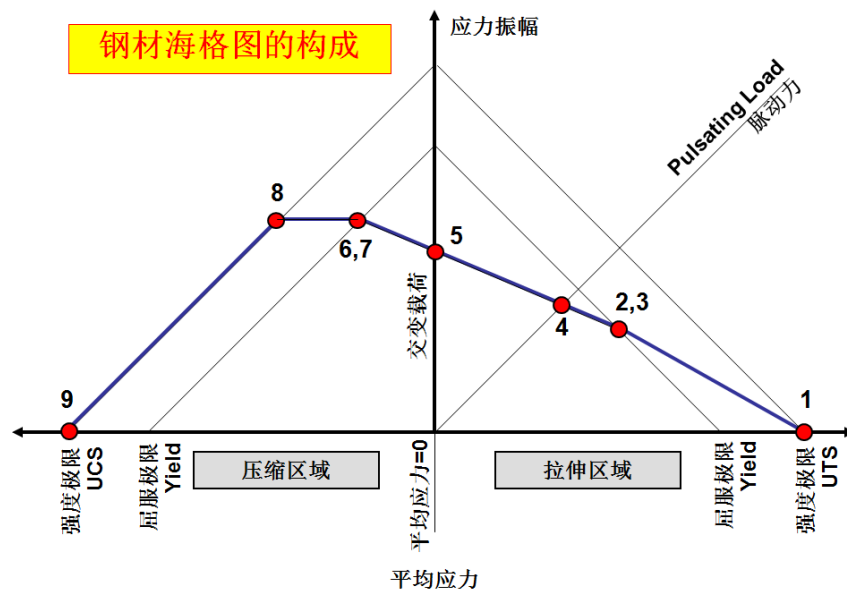


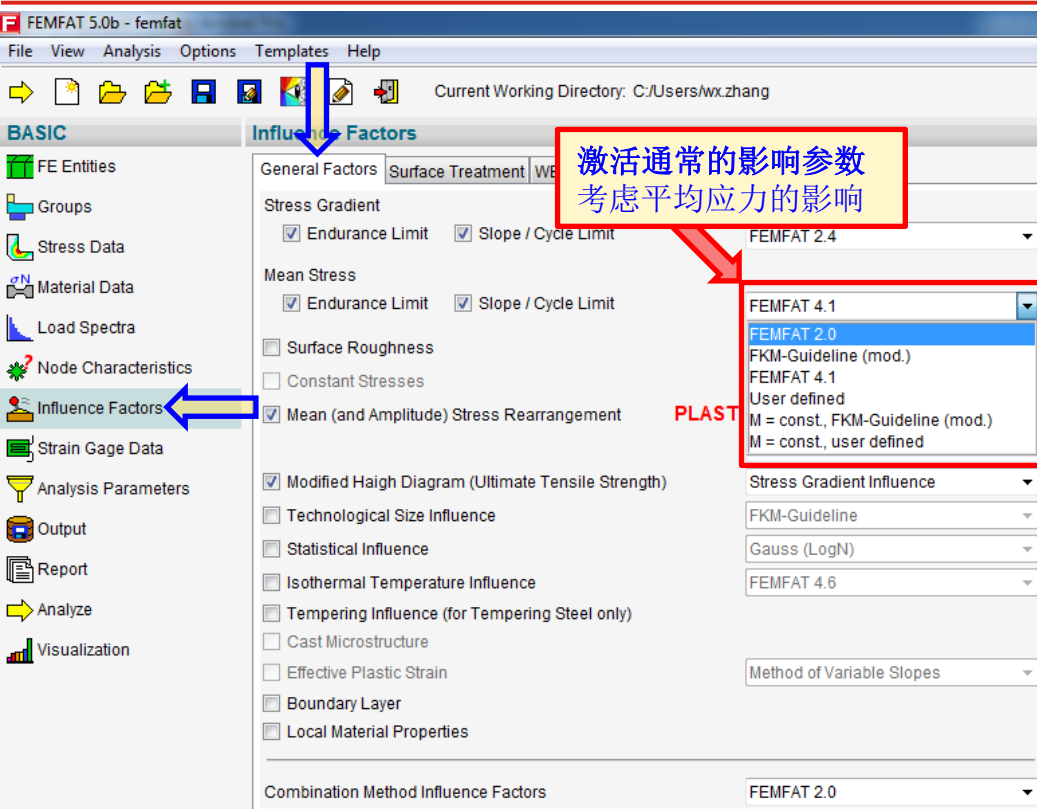
考虑平均应力的影响 (FEMFAT 法)

FEMFAT 2.0: 像FKM标准(修正版)描述的那样建立材料海格图的, 并确定S/N曲线斜率的影响因子。

FKM-Guideline(mod.): 根据FKM标准, 建立材料海格图的点5、4、3和2。也就是说, R=-1的点5与R=0的点4之间的直线斜率对应于平均应力敏感度M。M由交变和脉冲应力极限定义。点4和R=0.5的点3之间的直线斜率对应于M/3, 点3和点2之间的斜率为0。

钢材海格图的构成

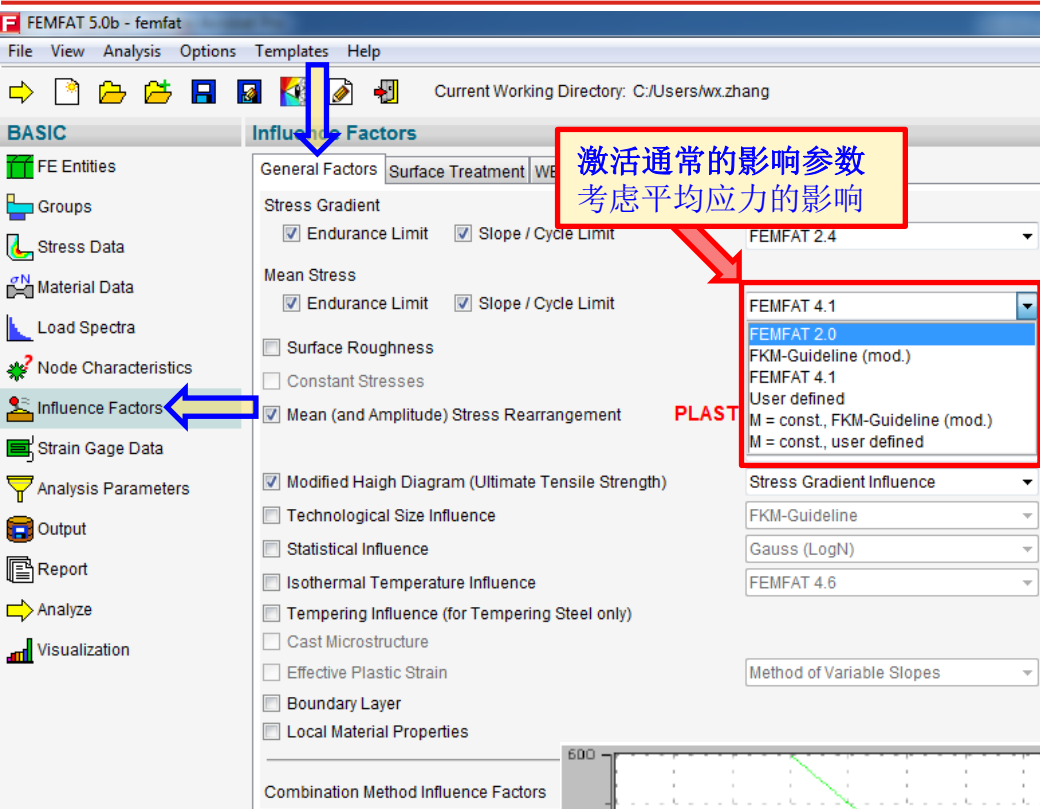




考虑平均应力的影响（ FEMFAT 法）

FEMFAT 4.1: 材料海格图的建立与使用与FEMFAT2.0的方法相同。但是在压应力下的S/N曲线斜率比使用FEMFAT2.0方法时要小。从实际经验上来说这与实际情况更加符合。当确定S/N曲线的斜率时也适用于所有其它的方法（FEMFAT2.0除外）。

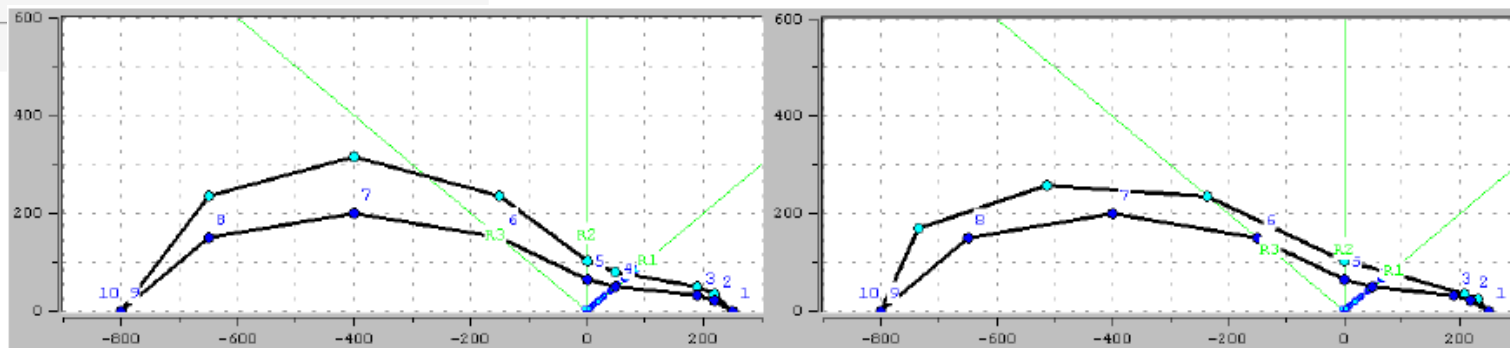
User-defined: 当采用此方法时，用户可以用最多50个点的多边图形来为材料确定海格图。



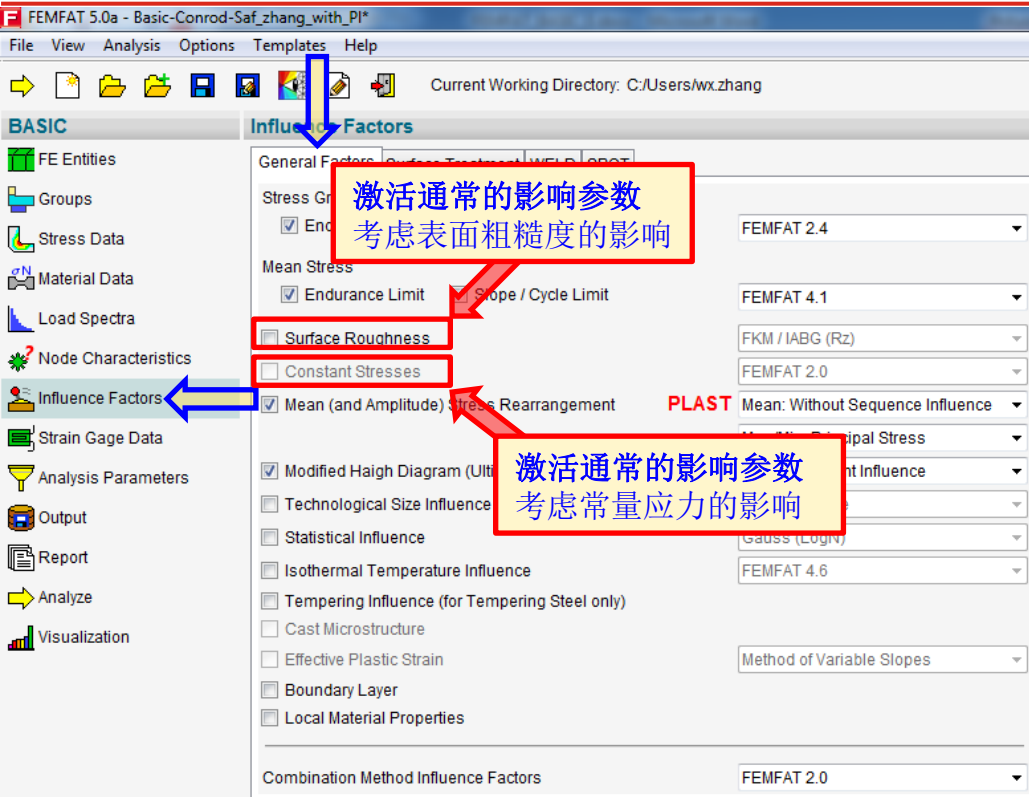
考虑平均应力的影响 (FEMFAT 法)

M=const., FKM guideline (mod.): 材料海格图的建立与使用FKM标准(修正版)相同。区别是局部零部件海格图的计算:

- 当使用FKM标准(修正版)时, 总的影响系数 f_{tot} 只影响疲劳极限, 导致局部零部件海格图仅在垂向方向上进行缩放。
- 使用这种方法时, 总的影响系数 f_{tot} 将影响 $R=0$ 至 $R=-\infty$ 之间的疲劳极限和平均应力, 使平均应力敏感度值保持恒定。如下图所示, 局部零件海格图绿色的点在原始海格图蓝色的点进行了垂直方向的移动, 右图中平均应力敏感度 M 为恒定 (局部零件海格图绿色的点以辐射状向外扩展)。



M=const., user-defined: 与上述方法的区别是, 材料海格图的建立使用了用户自定义的方法。



考虑表面粗糙度的影响

若表面粗糙度的影响未被激活的话，则FEMFAT使用试棒材料S/N曲线的粗糙度值。在大多数情况下，零部件的表面粗糙将降低疲劳强度。

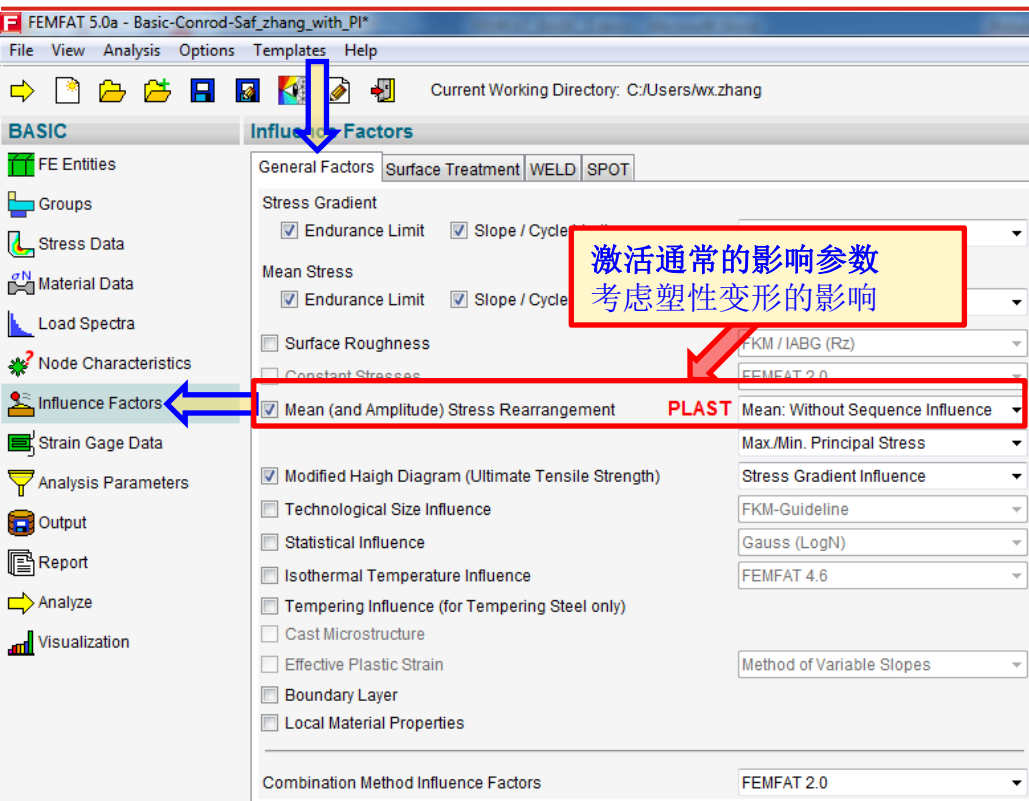
表面粗糙度影响分析方法

用户可以选择以下三种考虑表面粗糙度影响的方法：

- TGL (Rz)
- IABG (Rt)
- FKM/IABG (Rz) (默认方法)

考虑常量应力的影响

在疲劳分析中考虑常量应力的影响更加的容易，只需要将其应力张量添加到当前平均应力张量中即可。

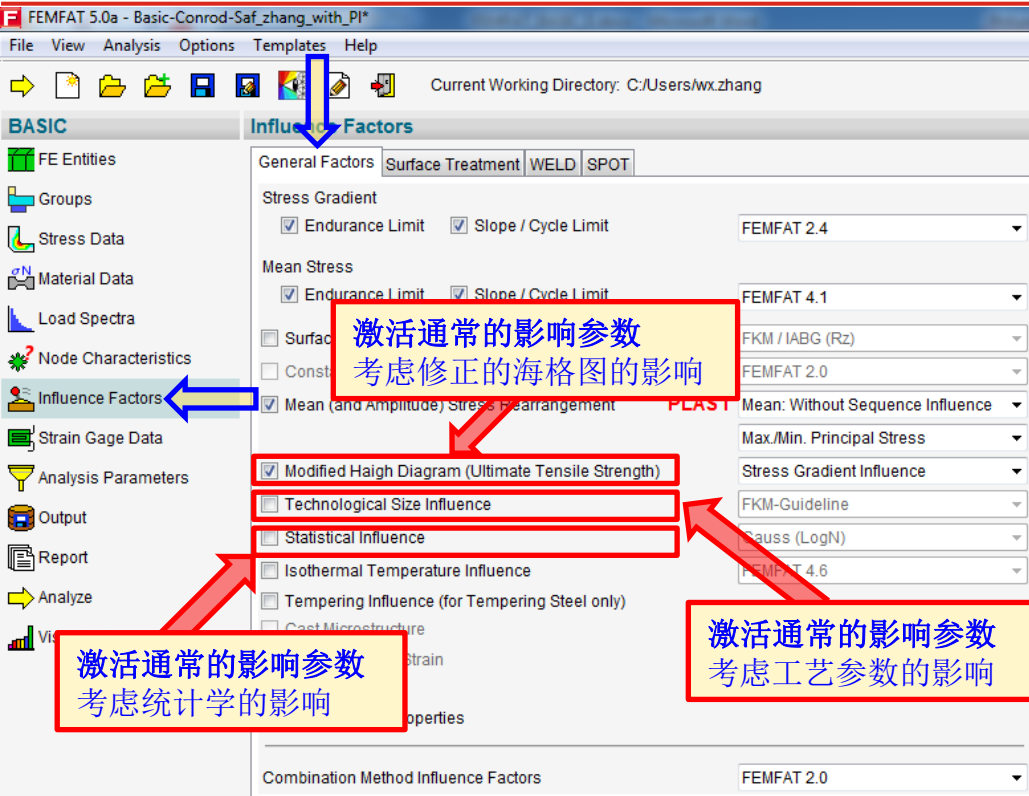


考虑塑性变形的影响（平均应力重新分布）

当激活这个选项后，应力超过材料屈服强度而导致的局部塑性变形将用于生成残余应力张量。如果没有超过材料屈服强度的话，则从平均应力数据记录中读取平均应力。

平均应力重新分布的计算方法

- 不利载荷顺序影响下的平均应力重新分布
-对载荷矩阵将考虑存在最大正残余应力（拉应力）的情况下进行处理，残余应力将用于处理随后的载荷谱部分。
- 有利载荷顺序影响下的平均应力重新分布
-对载荷矩阵将考虑通过局部塑性变形存在最大负残余应力（压应力）的情况下进行处理，残余应力将用于处理随后的载荷谱部分。
- 无载荷顺序影响下的平均应力重新分布（默认）
-对载荷矩阵将不考虑负残余应力的影响。
- 不利载荷顺序影响下的平均和应力幅值的重新分布
-通过应用Neuber双曲线方法对应力幅值进行修正。
- 有利载荷顺序影响下的平均和应力幅值的重新分布
- 无载荷顺序影响下的平均和应力幅值的重新分布



考虑修正的海格图的影响

根据应力梯度的大小提高海格图中最大应力极限。
只有考虑平均应力影响时，此影响参数才能被激活。

考虑工艺参数的影响

根据FKM标准的来考虑工艺参数的影响。激活此影响系数后，将考虑3D节点或是壳单元节点给定的壁厚对零部件S/N曲线的影响。

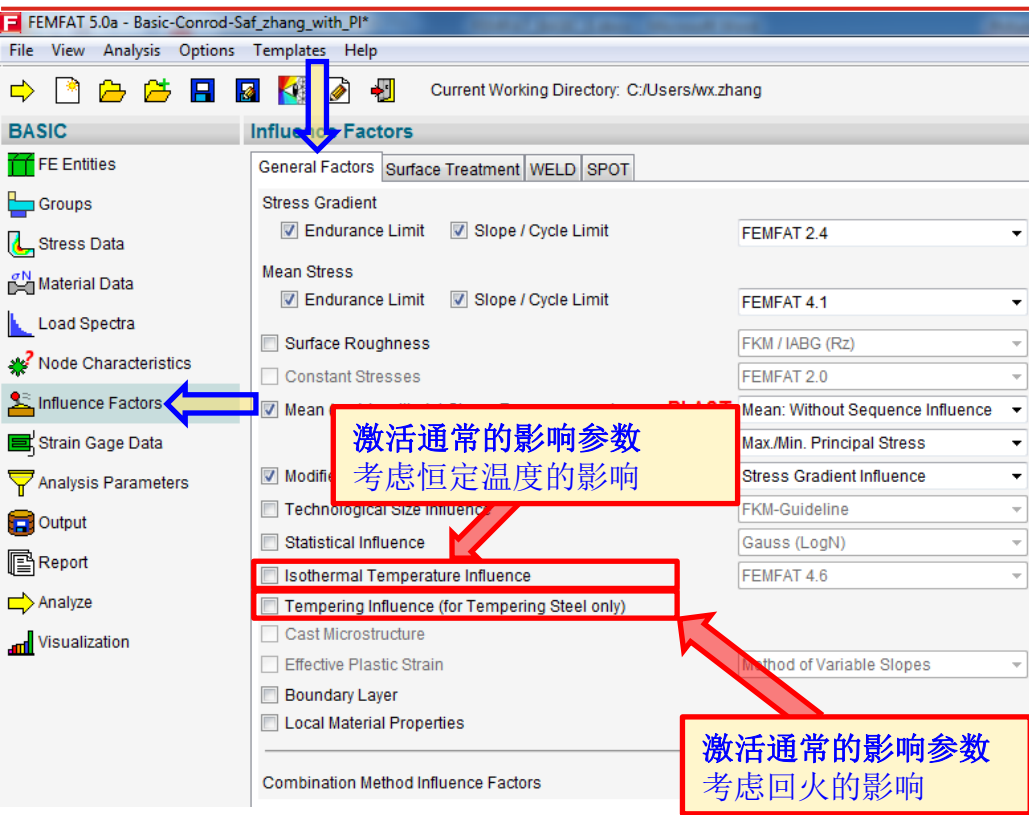
考虑统计学的影响

不激活此影响参数，将使零部件的节点S/N曲线不考虑已定义好的存活率和离散度，而去使用基础试棒的S/N曲线存活率。

统计学影响的分析方法（高斯正向分布）

将重新计算疲劳强度，并考虑如下的影响参数：

- 不同类型S/N数据的存活率（材料数据）
- 偏差范围（节点特性）
- 依赖于输入的（分析参数）结果所需的存活率



考虑恒定温度的影响

激活温度影响使当前组里的所有节点考虑已定义的温度。温度的升高会对疲劳强度产生不利的影响。对于没有定义温度的节点，将以室温（20° C）进行分析。如果温度影响未被激活，将使局部零部件S/N曲线在计算中忽略已定义的节点温度。

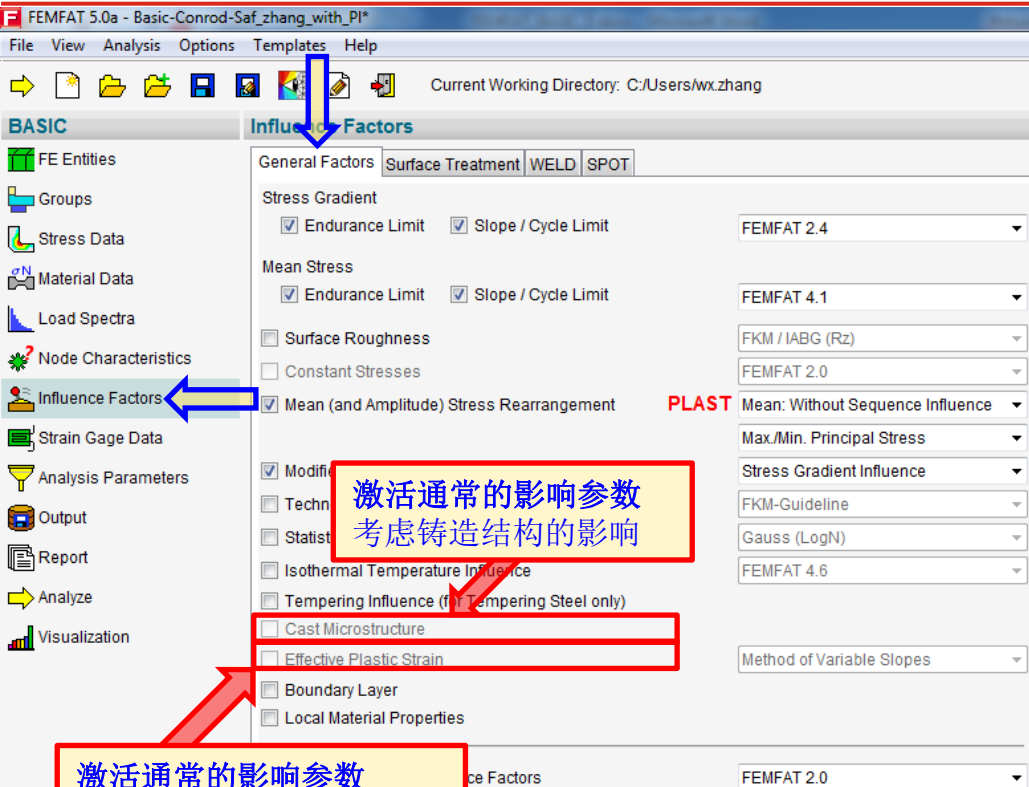
恒定温度影响的计算方法

FEMFAT提供了一系列选项以考虑此影响：

- FKM guideline** – 恒定温度只影响S/N曲线。
- FEMFAT 4.5** – 修正S/N曲线和海格图。静态和循环应力应变材料参数将根据FKM标准进行修正。
- User-defined** – 分析中采用用户指定的依赖于温度的材料参数。海格图、循环稳态应力/应变曲线，支撑系数（应力梯度影响系数）和等效应力将根据指定的S/N曲线进行修正。
- FEMFAT 4.6** – 选项修正S/N曲线、海格图和循环稳态应力/应变曲线。根据FKM标准修正静态和循环应力应变参数。循环硬化系数K'将与抗拉强度成比例的进行更改（根据“统一的材料法则”）。

考虑回火的影响

激活回火影响后，将使得回火材料的疲劳强度数据根据回火状态进行修正。此选项只影响定义为回火钢材料（材料等级 16）的节点。



考虑铸造结构的影响（只针对铸铝）

激活此选项后就可以考虑零部件铸造凝固过程对疲劳强度的影响。当在节点特性中导入微结构参数后，才能激活此影响系数。

考虑有效塑性应变的影响

激活此影响系数将考虑冲压变形量对于局部材料特性的影响。金属钣金成型改变了局部材料的特性。通过冲压变形的模拟仿真可以提供等效塑性应变的分布，并可以估算出局部材料特性的变化。当在节点特性中导入等效塑性应变分布后，才能激活此影响系数。

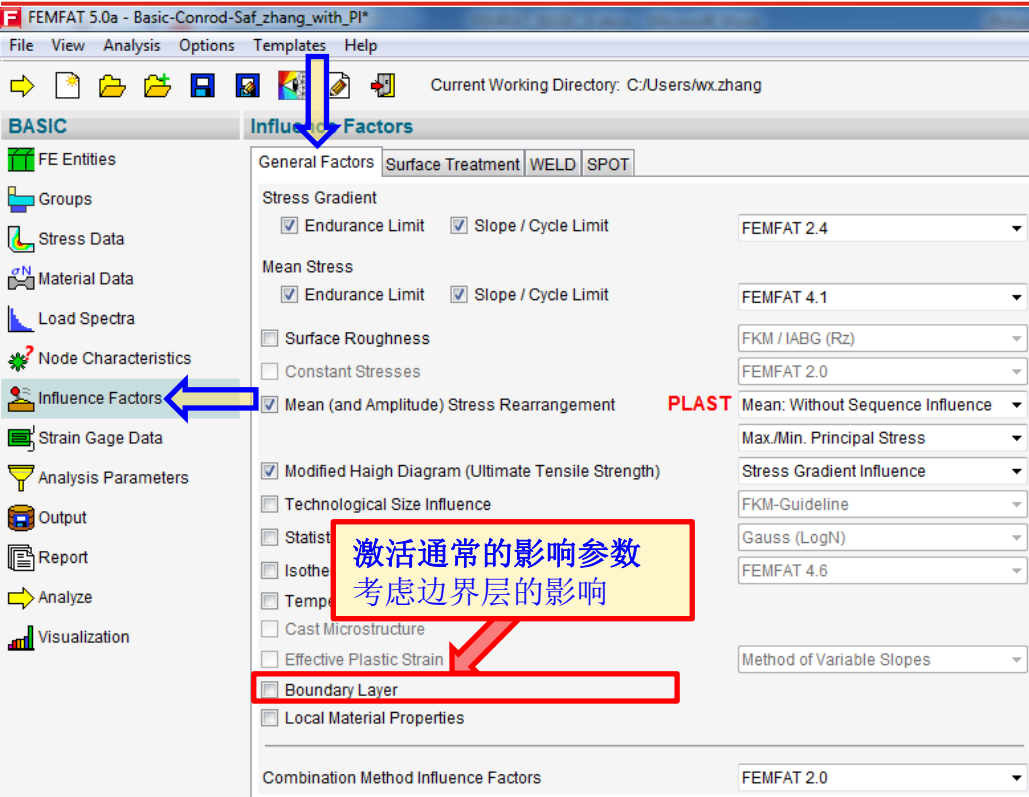
FEMFAT目前提供以下的方法：

Material Law for Steel Sheets, MLSS:

此方法由Rainer Masendorf在德国Clausthal技术大学的博士论文“冲压变形对于薄钢板循环应力应变材料特性的影响”（2000）中提出的。

Method of variable slopes: (from Version 4.6)

此方法由Ansgar Hatscher在德国Clausthal技术大学的博士论文“钢材循环应力应变的材料特性”（2004）中推导而来。



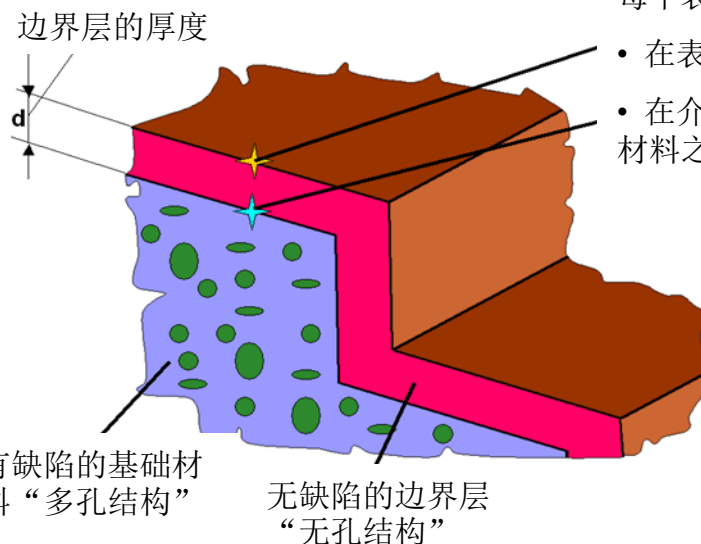
考虑边界层的影响

激活此影响参数将对“无缺陷的边界层”和“有缺陷的基础材料”进行分步的分析。注意在激活此选项后，将不予考虑所有表面影响、表面粗糙度影响和内部节点的铸造微结构影响。

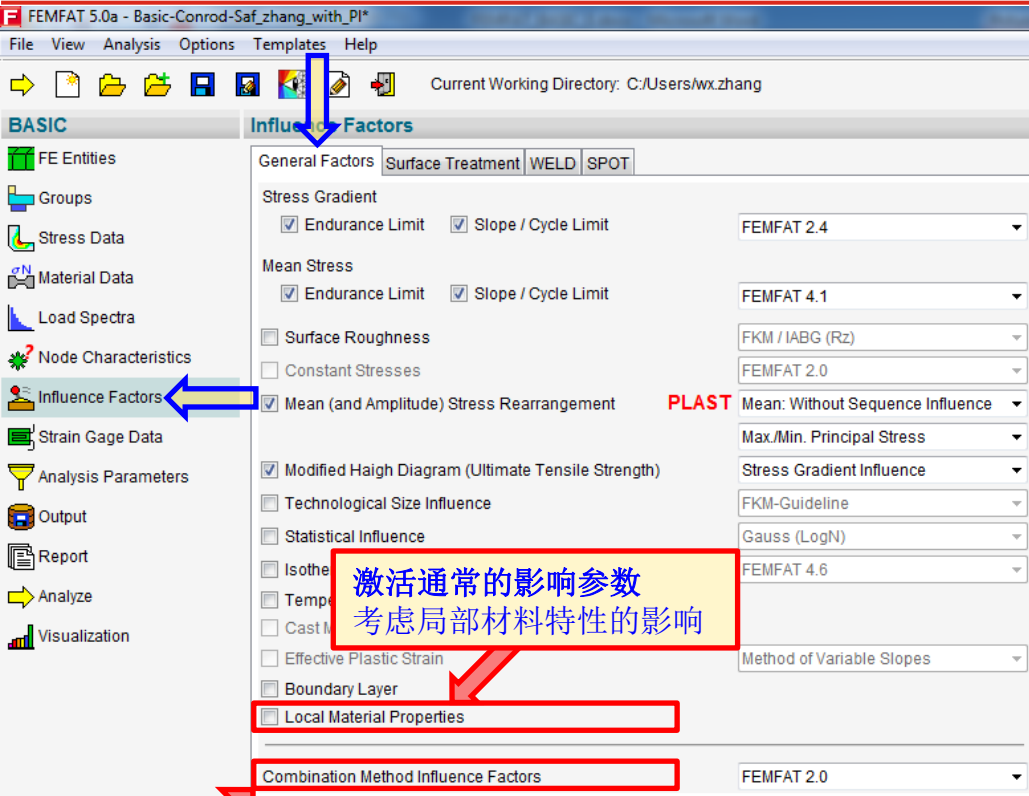
根据AK13的边界层模型，无需额外建立模型即可分析边界层。因为“无缺陷的边界层”与“有缺陷的基础材料”的疲劳性能不同，需要分别赋予不同的材料参数进行疲劳分析。在FEMFAT中进行边界层分析时，需要对表面节点定义两种材料和边界层厚度。在计算中将对每个表面节点进行两次分析。

每个表面节点进行2次分析：

- 在表面层采用无缺陷材料
- 在介于无缺陷层和有缺陷材料之间的边缘评估点



1. 在第一轮分析中，将对表面节点以边界层材料和表面节点应力进行计算。
2. 在第二轮分析中，将对表面节点以基础材料和边界层与基材之间的边缘应力进行计算。



考虑局部材料特性的影响

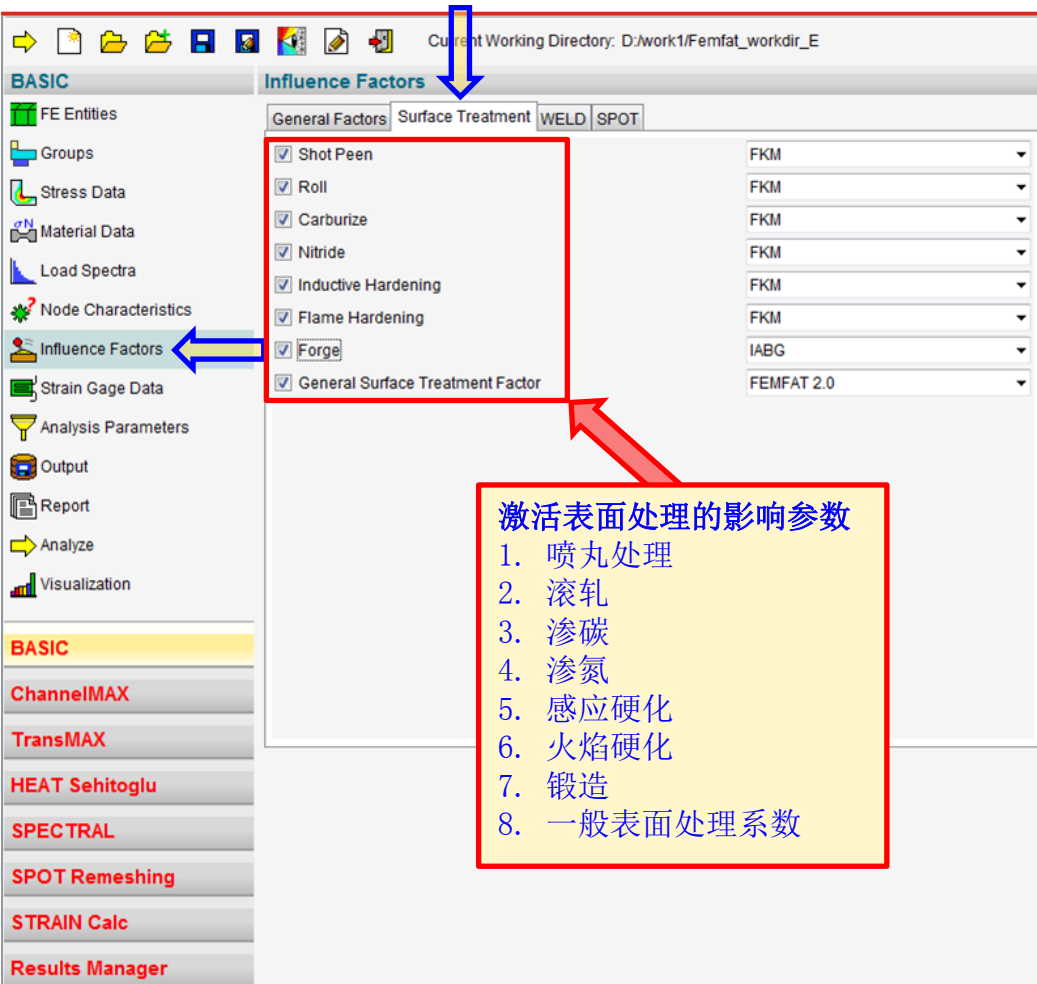
激活此影响选项将在疲劳分析中考虑所输入的局部材料参数。

影响系数组合方法

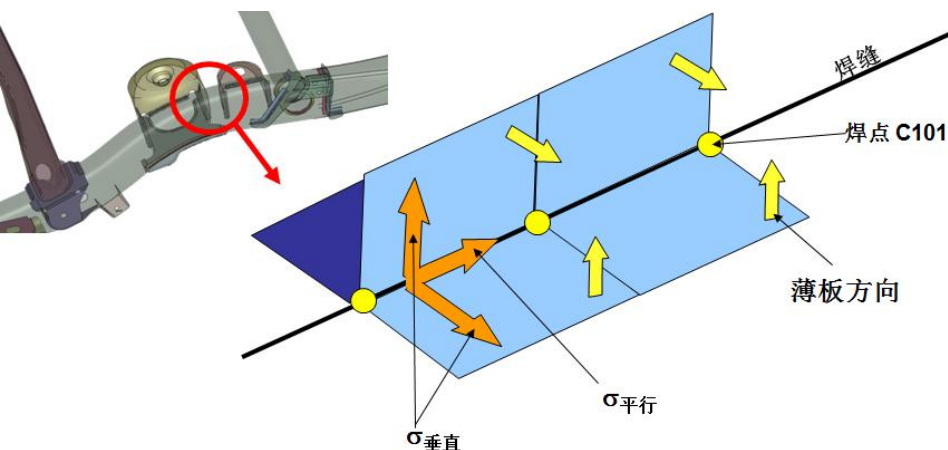
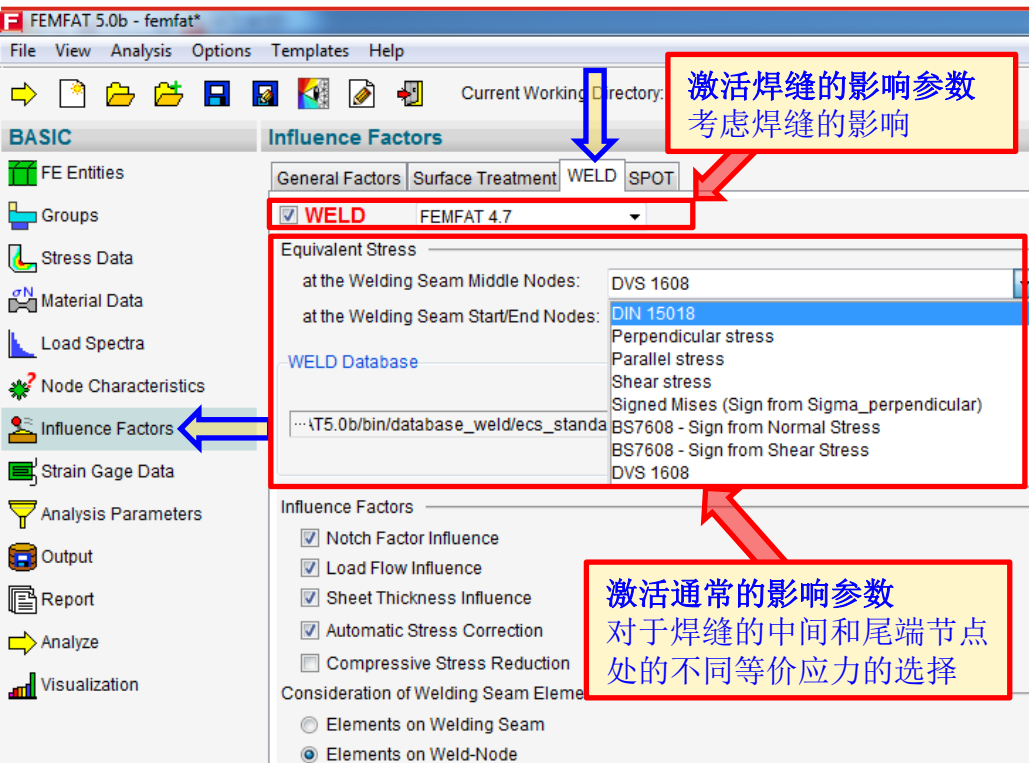
各种影响系数的叠加来计算零部件的S/N曲线是FEMFAT软件的重要功能。在目前的FEMFAT版本中，是基于TGL标准进行的参数叠加。

激活通常的影响参数
考虑局部材料特性的影响

激活通常的影响参数
影响参数的组合方法



1. **喷丸处理** - 节点经过喷丸处理将使S/N曲线的疲劳极限值增加，因为喷丸处理将产生残余压应力。
2. **滚轧** - 轧制处理与喷丸处理类似，将增加疲劳极限值。
3. **渗碳** - 激活渗碳处理将使零部件的疲劳极限增加。
4. **渗氮** - 激活渗氮处理将影响零部件S/N曲线的计算。
5. **感应硬化** - 激活此影响将考虑当前组节点上定义的感应硬化影响。
6. **火焰硬化** - 激活此影响将考虑当前组节点上定义的火焰硬化影响。
7. **锻造** - 激活此影响将根据定义的系数修改局部零部件S/N曲线。
8. **一般表面处理系数** - 激活此选项将使得在节点上已经定义好的表面处理系数，来直接修改零部件的S/N曲线的疲劳极限。



考虑焊缝的影响

默认情况下此模块处于未激活状态。激活此选项将对所有根据FEMFAT WELD的建模指南定义为焊缝的有限元模型节点进行单独的焊缝评估。可以通过点击下拉菜单选择不同的评估方法，默认为FEMFAT 4.7方法。

等价应力的选择

1. 评估焊缝**中间节点**：8种等价应力
2. 评估焊缝**尾端节点**：4种等价应力

以下等效损伤或等效安全系数可用于评估焊缝**中间节点**（符号a表示真实的应力幅值，符号A表示应力幅值的极限）：

公式 1: DIN 15018等效损伤

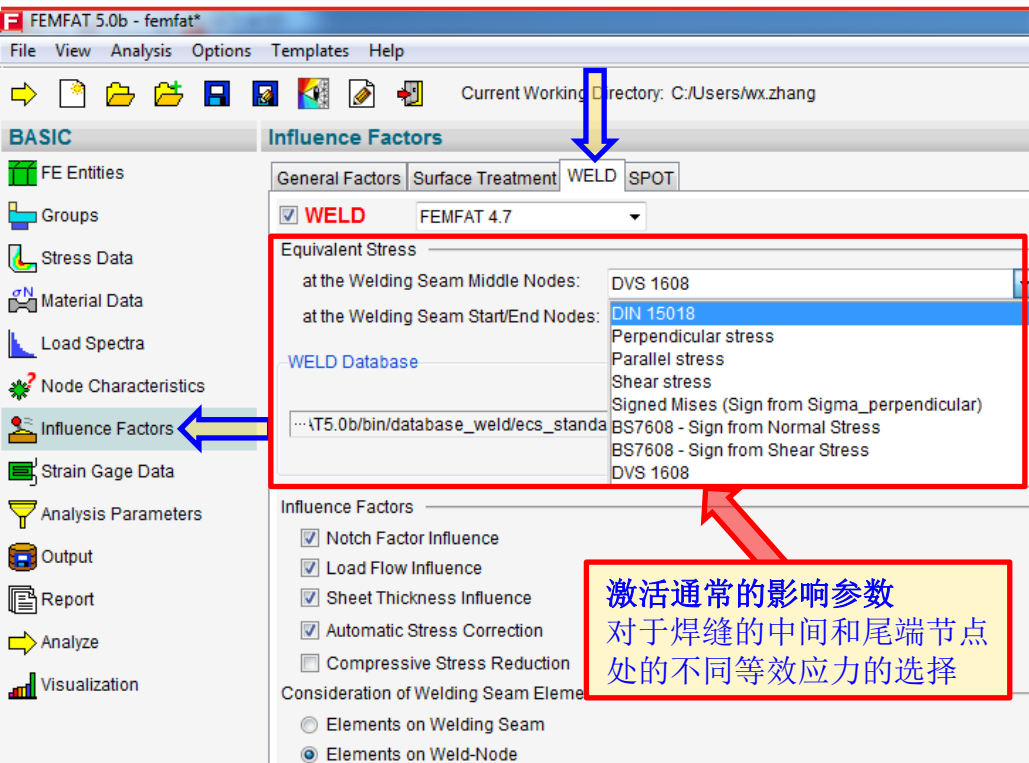
$$\frac{\sigma_a}{\sigma_A} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{a\perp}}{\sigma_{A\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{a=}}{\sigma_{A=}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{a\perp}}{\sigma_{A\perp}}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{a=}}{\sigma_{A=}}\right) + \left(\frac{\tau_a}{\tau_A}\right)^2}$$

公式 2: DIN 15018等效安全系数

$$\frac{1}{S} = \sqrt{\left(\frac{1}{S_{\perp}}\right)^2 + \left(\frac{1}{S_{\parallel}}\right)^2 - \text{sign}(\sigma_{\perp} \cdot \sigma_{\parallel}) \left(\frac{1}{S_{\perp} \cdot S_{\parallel}}\right) + \left(\frac{1}{S_r}\right)^2}$$

公式 3: 基于垂直于焊缝的法向应力等效损伤（或安全系数）

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_A} = \frac{\sigma_{a\perp}}{\sigma_{A\perp}}$$



等效应力的选择

以下等效损伤或等效安全系数可用于评估焊缝**中间节点**（符号a表示真实的应力幅值，符号A表示应力幅值的极限）：

公式 4: 基于平行于焊缝的法向应力等效损伤（或安全系数）

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_A} = \frac{\sigma_{a\parallel}}{\sigma_{A\parallel}}$$

公式 5: 基于剪切应力的等效损伤（或安全系数）

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_A} = \frac{\tau_a}{\tau_A}$$

公式 6: Von Mises 等效应力（或安全系数）

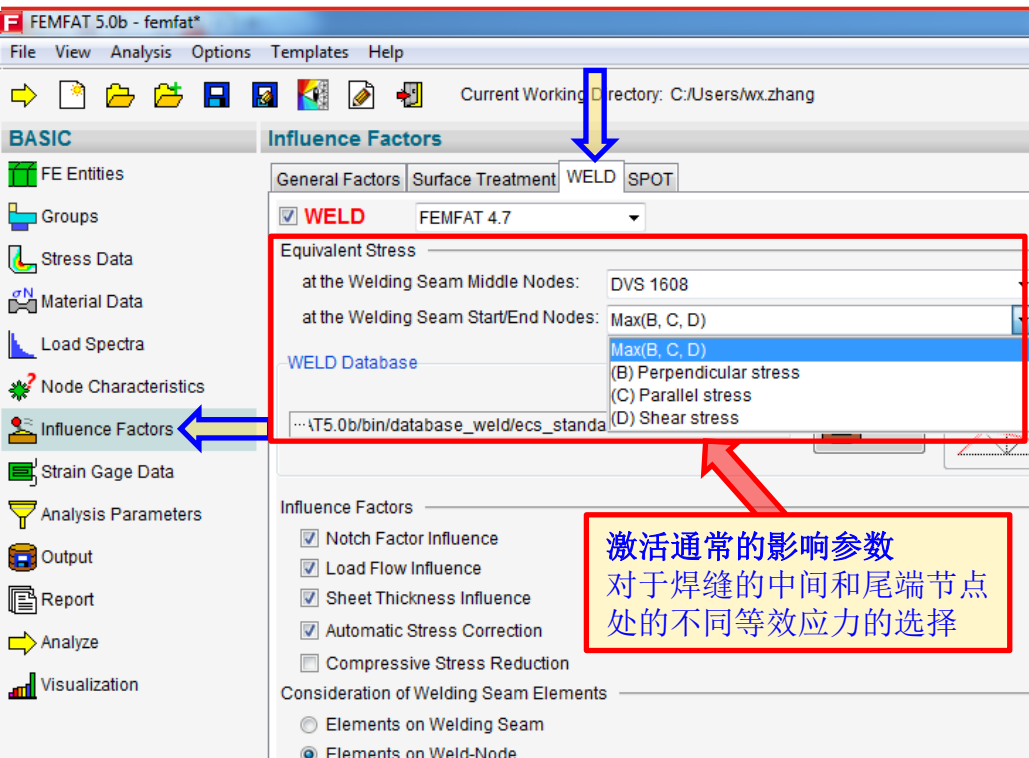
$$\frac{\sigma_a}{\sigma_A} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{a\perp}}{\sigma_{A\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{a\parallel}}{\sigma_{A\parallel}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{a\perp}}{\sigma_{A\perp}}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{a\parallel}}{\sigma_{A\parallel}}\right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_a}{\tau_A}\right)^2}$$

公式 7: 依据BS 7608的等效应力（或安全系数）

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_A} = \sqrt{\text{MAX} \left[\left(\frac{\sigma_{a\perp}}{\sigma_{A\perp}} \right)^2, \left(\frac{\sigma_{a\parallel}}{\sigma_{A\parallel}} \right)^2 \right] + \left(\frac{\tau_a}{\tau_A} \right)^2}$$

公式 8: 依据DVS 1608的等效利用系数（或安全系数）（默认设置）

$$a_v = \sqrt{a_{\perp}^2 + a_{\parallel}^2 + f \cdot a_{\perp} \cdot a_{\parallel} + a_{\tau}^2} \Rightarrow \text{等效损伤: } D_v = a_v^{\text{keff}}$$

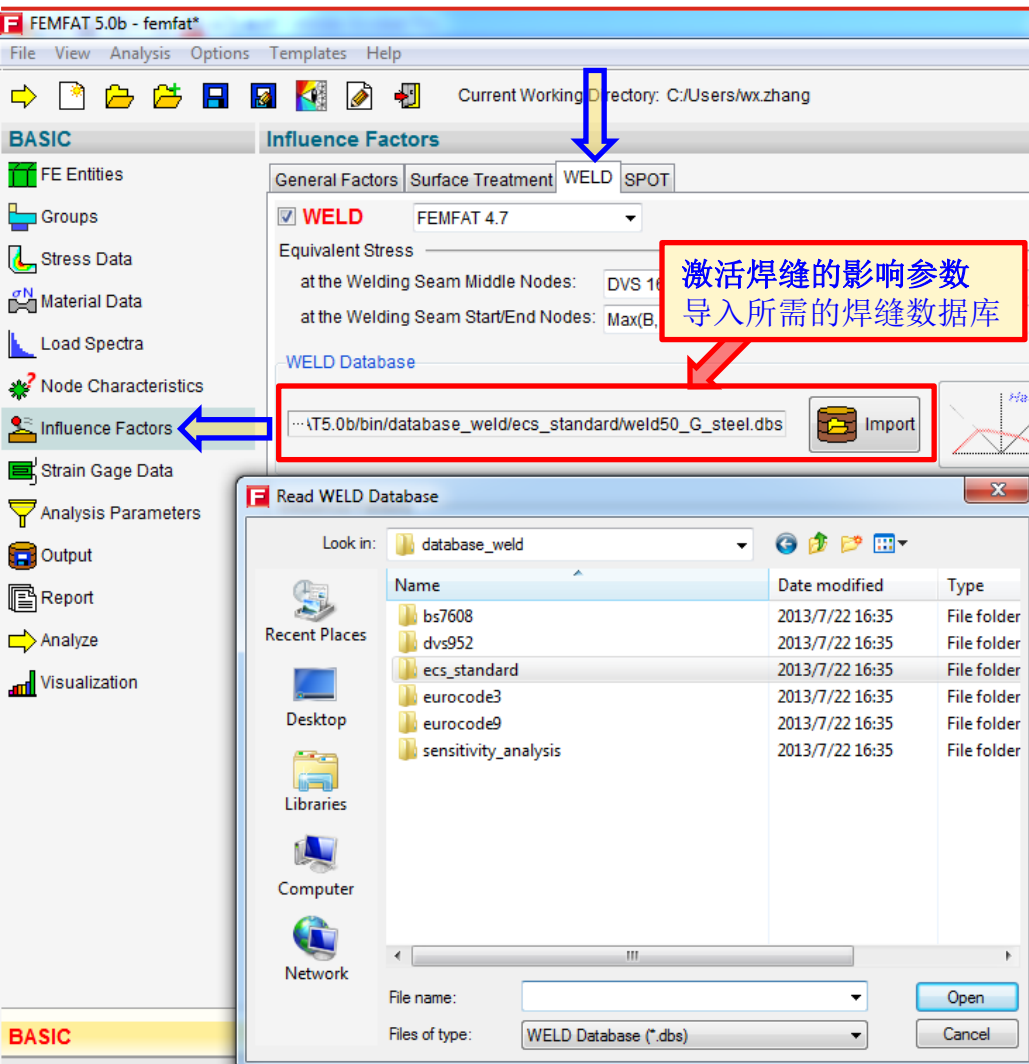


等效应力的选择

用户可以在焊缝的端点处选择等效应力:

1. 单独评估3个应力分量，输出危险应力分量的结果（默认设置）
2. 垂直于焊缝的法向应力
3. 平行于焊缝的法向应力
4. 剪切应力

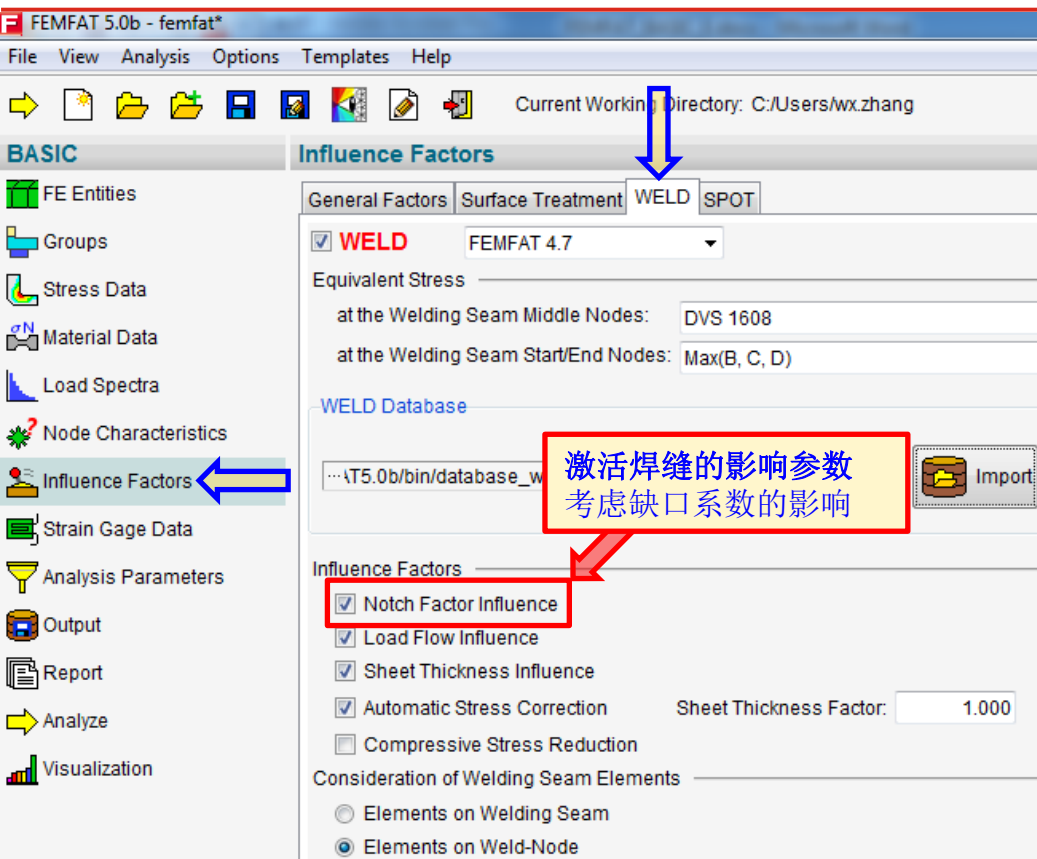
激活通常的影响参数
对于焊缝的中间和尾端节点
处的不同等效应力的选择



导入所需的焊缝数据库

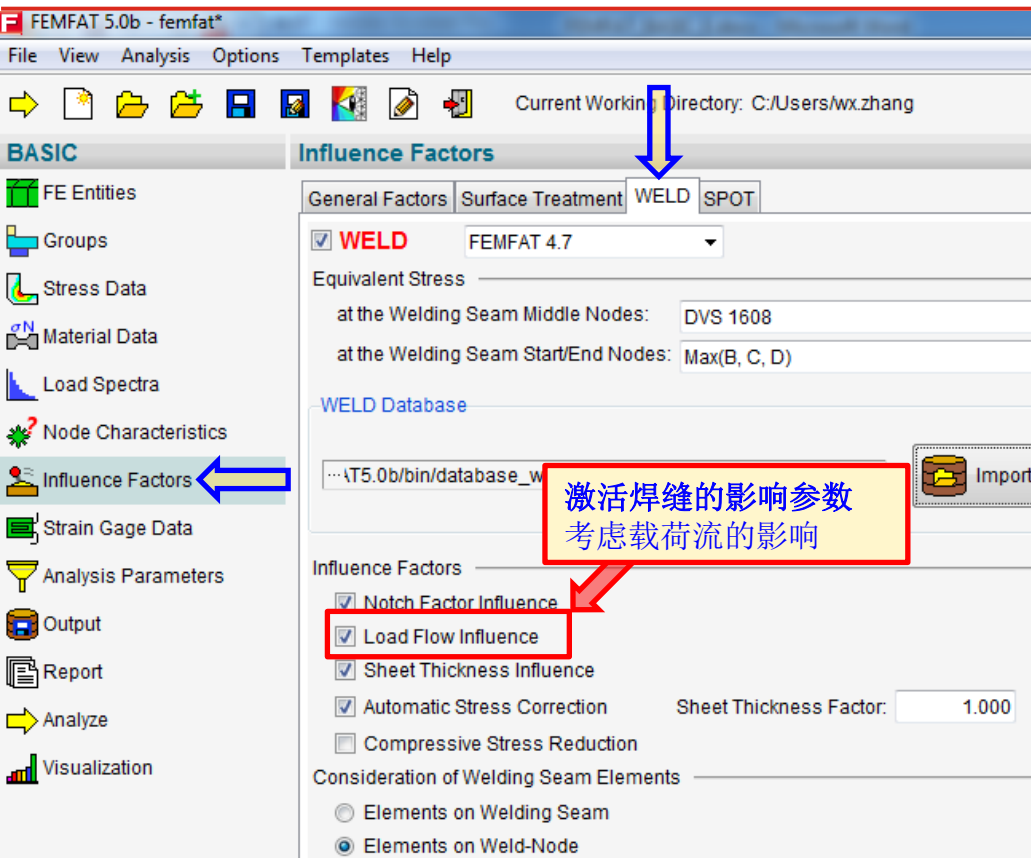
启动软件时，默认的数据库是weld50_G_steel.dbs，如果需要使用不同的焊缝数据库，则必须在输入框内输入数据库名称及完整路径，或者在文件选择框内选取。软件会根据评估方法的变更而自动地导入合适的数据库。

当启动程序时，根据初始文件（fefmat.ini）的默认语言设置导入 weld50_G_steel.dbs 或者 weld50_E_steel.dbs。“G”表示德语，“E”表示英语。这两个数据库仅仅只是描述数据的语言有所不同，技术参数是完全相同的。



考虑缺口系数的影响

1. 由于在缺口处有峰值应力，焊缝缺口对疲劳寿命将有实质性影响。激活此复选框后，将从指定的焊缝数据库中导入缺口系数，此系数与连接形式及焊缝类型相关。根据选择的评估方法，缺口系数用于分析焊缝的焊趾和焊跟。
2. 这些缺口系数与法向应力在局部焊缝走向上的横向分量和纵向分量是相关的。在此基础上，缺口应力 $\sigma_{\perp \max}$ 、 $\sigma_{// \max}$ 和 $\tau_{\max}$ 或是从“空间倾斜缺口”模型获得，或是从焊缝数据库中计算得到（取决于评估方法）。因此在焊缝计算中可以考虑各向异性。
3. 不但可以给每种焊缝类型的 $\sigma_{// \max}$ 直接指定缺口系数，而且各种缺口系数和S/N曲线数据也可用于焊缝的起止点。
4. 如果此评估方法复选框未被激活，那么从焊缝数据库中导入的缺口系数将被忽略，或者自动设置为 1.0（也就是说，焊缝的齿根处无缺口系数影响！）



考虑载荷流的影响

在一个焊缝单元中，每个评估点最多可导入3个缺口系数，这些缺口系数将用于如下的载荷工况：

载荷工况 1：

评估单元的拉/压 → 缺口系数 1

载荷工况 2：

评估单元的弯曲 → 缺口系数 2

载荷工况 3：

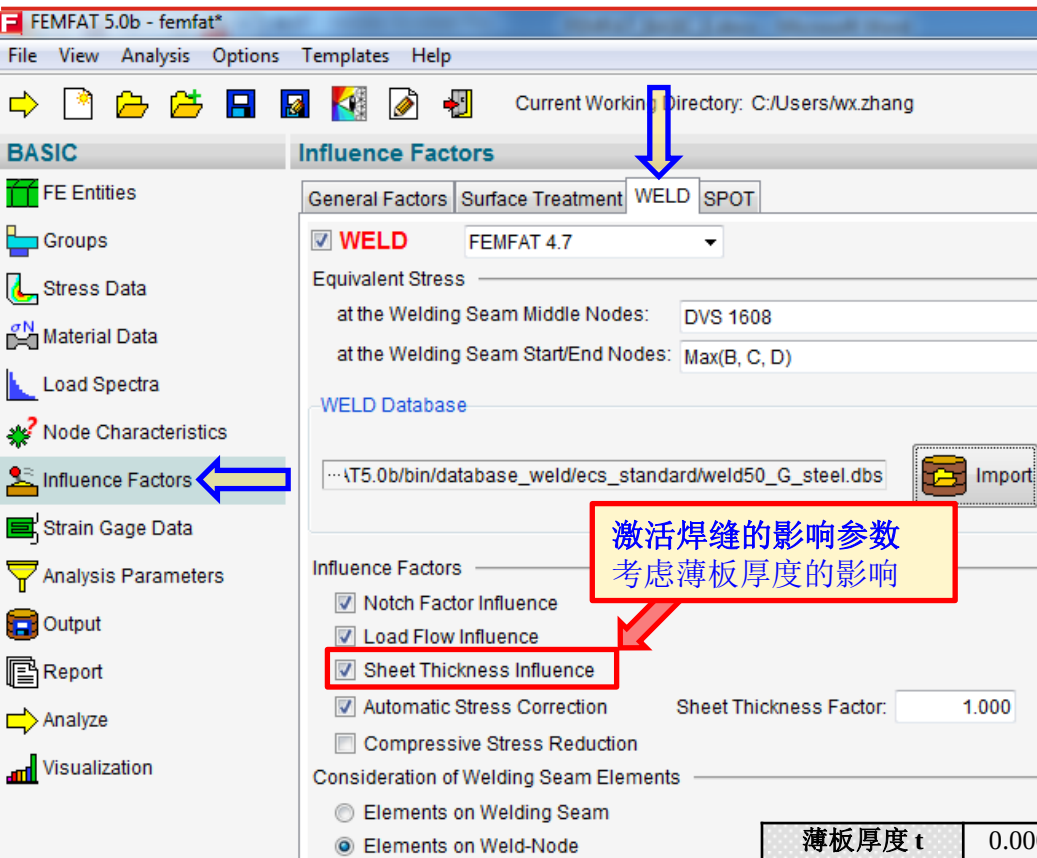
通过相邻单元的载荷流 → 缺口系数 3

如果此复选框被激活，FEMFAT通过以上三种缺口系数为当前载荷插值得出一个有效缺口系数（FEMFAT 4.4.1法）。或者缺口系数将直接乘以相应的应力分量，然后相加得出缺口应力（FEMFAT 4.7 法，EUROCODE 3，BS 7608，SSZ 法）。

在实际应用中，有效缺口系数（对于剪切应力）总是小于或等于数据库中3个缺口系数的最大者。使用FEMFAT 4.7方法通过缺口应力和结构应力之比获得了一个较大的缺口系数，这个系数为了修正降低海格图和确定剪切缺口系数，而不超过数据库中的最大值。

如果此复选框未被勾选，数据库中最不利（即最大）的缺口系数将被自动的应用于后续的分析中。

此复选框不影响“MSZ”评估方法，因为这种方法并不考虑载荷流的影响。



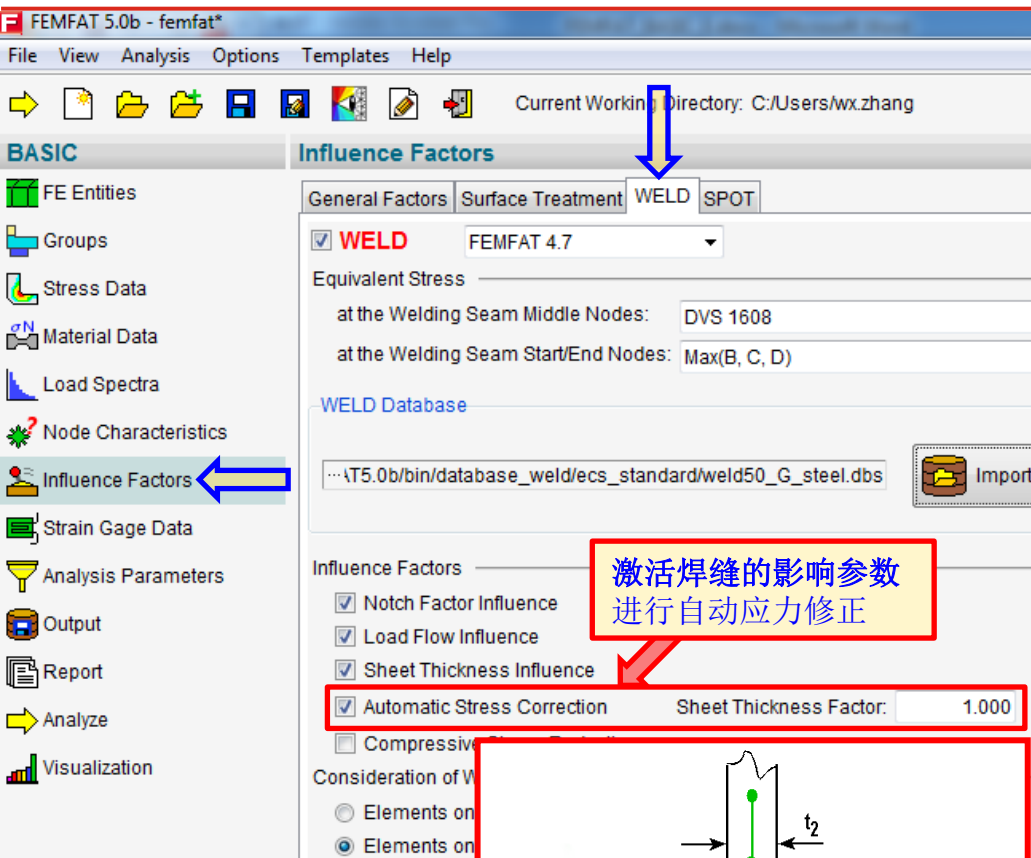
考虑薄板厚度的影响

焊缝数据库中的缺口系数对应于10mm的薄板厚度。因为薄板厚度对缺口系数影响很大，因此在焊缝的疲劳分析中，需要对缺口系数进行薄板厚度的修正。

此过程借助于焊缝数据库中的“多边形过程”，在给定的结构（支撑）点上特定的相关联的薄板厚度系数将被赋给特定的、离散的薄板厚度。如果FEMFAT基于物理属性表确定了这些离散支撑点之间的薄板厚度，相应的薄板厚度系数将通过线性插值获得。然后在程序中缺口系数将与对应的薄板厚度相匹配，在这个过程中缺口系数将与薄板厚度系数相乘。

以下是对于钢和铝材料的默认值
(weld50_G_steel.dbs 或weld50_G_alu.dbs):

薄板厚度 t [mm]	0.000	1.100	4.000	8.000	10.00	13.00	15.00	50.00	200.0	1,000
薄板厚度系数 [-]	0.510	0.560	0.720	0.946	1.000	1.068	1.107	1.653	2.624	4.487



进行自动应力修正

激活此选项将使得焊缝的应力和与之相邻单元的应力之间进行线性内插值。因为局部焊缝应力作为焊缝评估的基础，在焊缝进行疲劳预估的时候，通过这种方法可以使单元尺寸的影响降至最小程度。适当的和精细的有限元网格在进行应力线性内插值时的处理方式是不一样的。对于精细的有限元网格，不仅使用焊缝和相邻单元的应力，还使用距离焊缝一定距离的评估点单元的应力。这些评估点应当近似的位于焊缝过度区域内。评估点到有限元焊缝的距离由以下公式来计算：

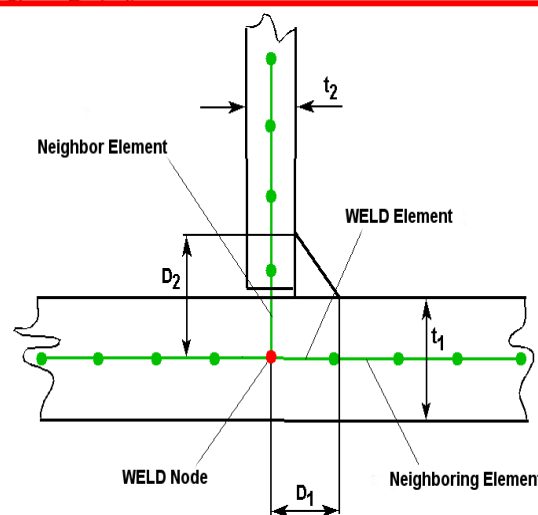
$$D_{BEUPKT} = f_{ele} \cdot (0.5 \cdot t_{neighbor} + t_{min})$$

f_{ele} - 薄板的厚度，默认薄板厚度系数 (f_{ele}) 为 1.0

$t_{neighbor}$ - 相邻单元薄板的厚度 (如果存在)，否则 $t_{neighbor} = 0$

t_{min} - 焊缝单位薄板的最小厚度。

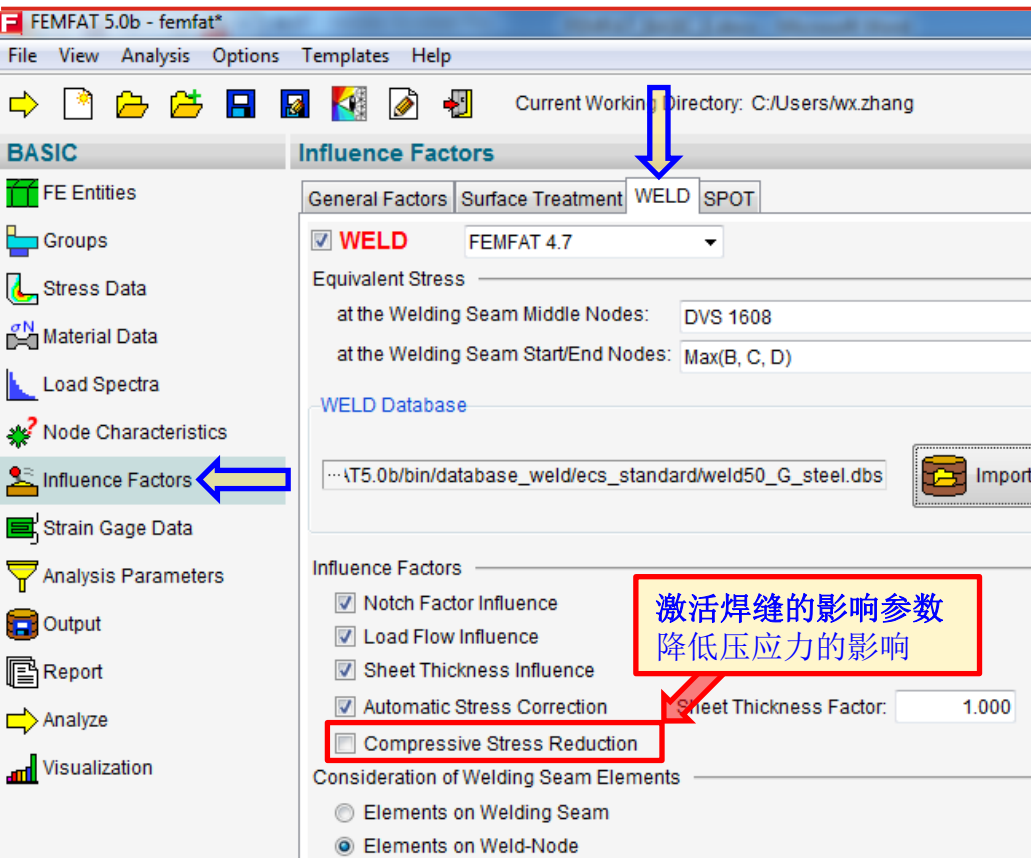
1. 如果相邻单元的中心点比评估点的距离远 (适当的网格划分)，则焊缝的应力和相邻单元的应力将进行内插值来获得评估点的应力。
2. 如果评估点到焊缝的距离远大于焊缝相邻单元中心点到焊缝的距离，则评估点临近单元的应力将进行加权平均来获得评估点的应力。



$$D_1 = f_{ele} \cdot (0.5 \cdot t_{neighbor} + t_{min}) = 1 \cdot (0.5 \cdot t_2 + t_2)$$

$$D_2 = f_{ele} \cdot (0.5 \cdot t_{neighbor} + t_{min}) = 1 \cdot (0.5 \cdot t_1 + t_2)$$

另外，焊缝末端平行于焊缝的方向也做应力修正。



降低压应力的影响

激活此选项，根据焊缝标准EUROCODE3和BS7608，载荷应力循环中的压应力分量将降低40%（如：对于退火焊缝或喷丸处理焊缝的应力释放）。所获得的新的应力幅值将用于疲劳评估。根据最大和最小应力（ σ_0 和 σ_U ），得到缩减的应力幅值和平均应力（ σ_A 和 σ_M ），计算公式如下：

$$\sigma_A = \frac{(\sigma_{O,red} - \sigma_{U,red})}{2} \quad \sigma_M = \frac{(\sigma_{O,red} + \sigma_{U,red})}{2}$$

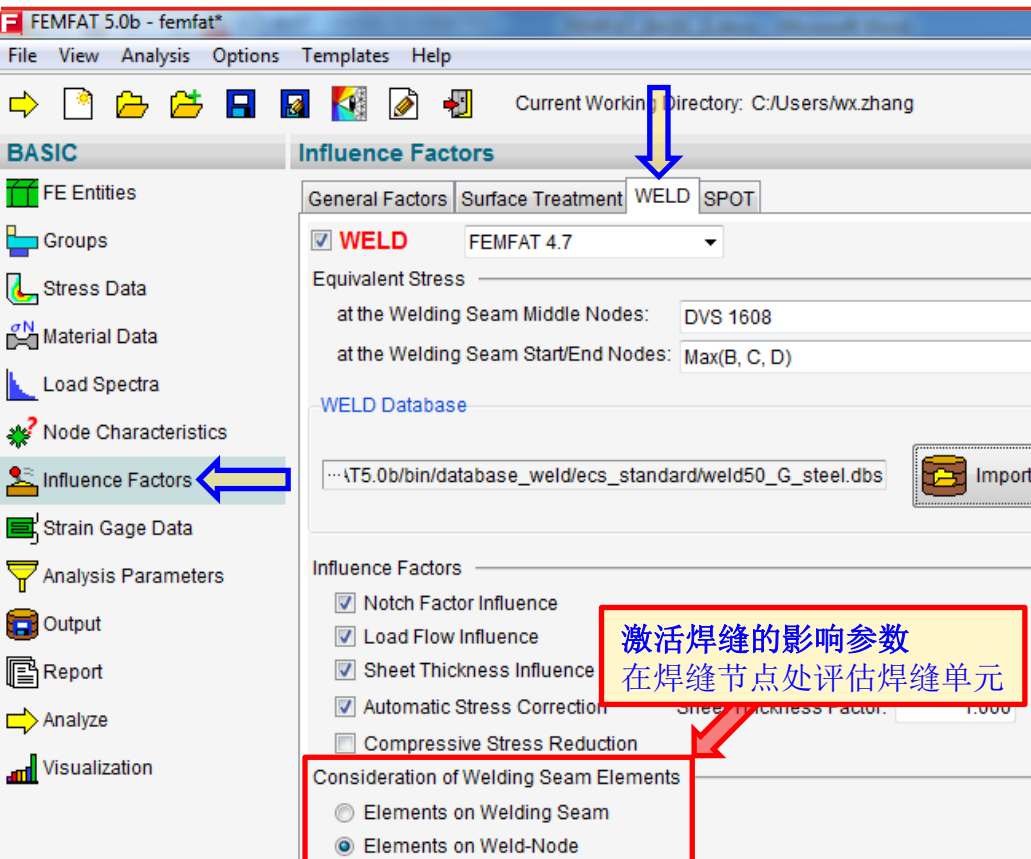
其中：

$$\begin{aligned} \sigma_{O,red} &= \sigma_O & \text{当 } \sigma_O \geq 0 \\ \sigma_{O,red} &= 0.6 \sigma_O & \text{当 } \sigma_O < 0 \\ \sigma_{U,red} &= \sigma_U & \text{当 } \sigma_U \geq 0 \\ \sigma_{U,red} &= 0.6 \sigma_U & \text{当 } \sigma_U < 0 \end{aligned}$$

当进行压应力缩减时，总是应用由最大和最小应力定义的真实应力循环，即使平均应力影响选项没有被激活的情况下。

对于基础材料如果FEMFAT PLAST被激活的话，则在压应力缩减之前，先进行局部塑性变形对平均应力进行修正。

不推荐将压应力缩减与平均应力影响选项共同使用，否则会弹出警告信息。使用压应力缩减时，将以某种方式考虑平均压应力的促进作用。而如果进一步考虑平均应力影响的话，将导致过于乐观的结果。



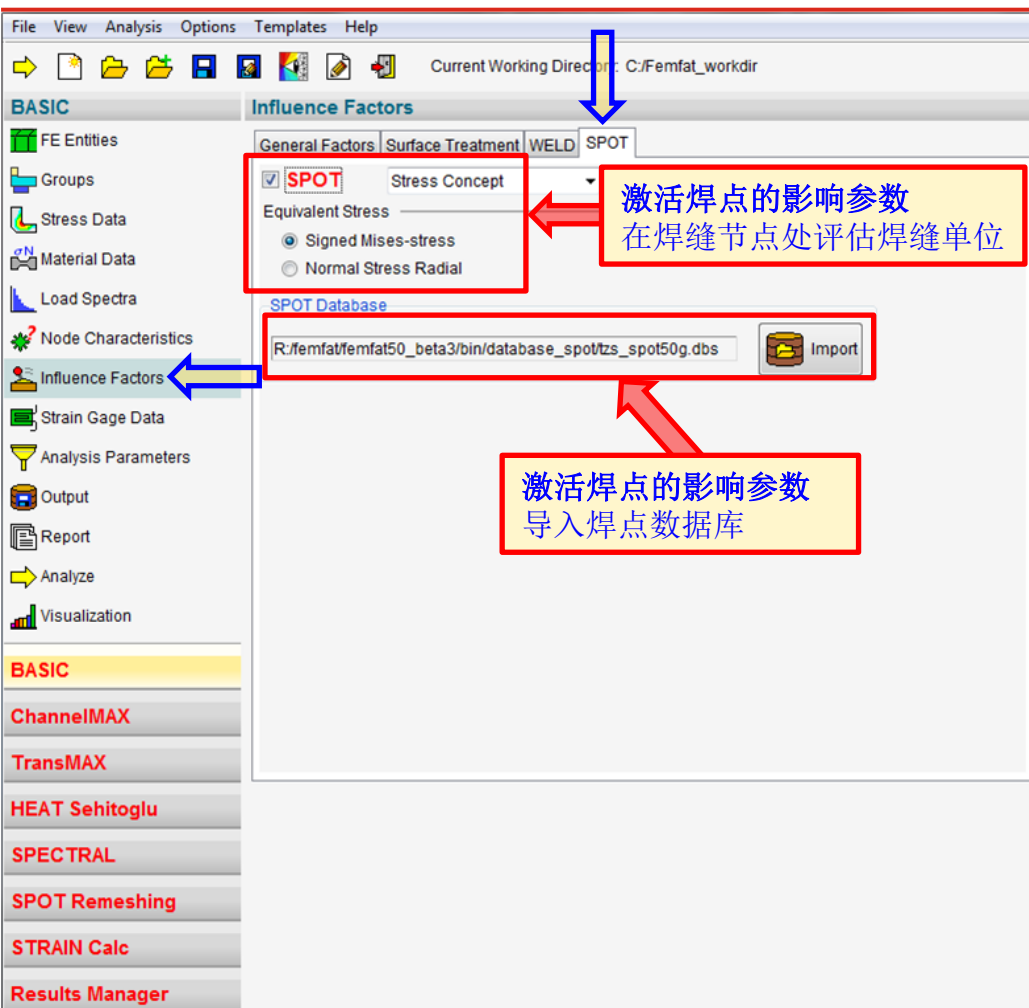
在 WELD 节点评估焊缝单元

在FEMAT WELD中，如果一个焊缝单元包含两个焊缝节点的话，则焊缝将作为两个焊缝节点的连接。

用户可以选择FEMFAT WELD评估焊缝的方法：

1. 与有限焊缝边缘相连的焊缝单元
2. 与一个焊缝节点相连的焊缝单元

激活焊缝的影响参数
在焊缝节点处评估焊缝单元



激活焊点的影响参数

当激活此选项时，所有之前定义为点连接的有限元节点将作单独的点连接结构进行评估。

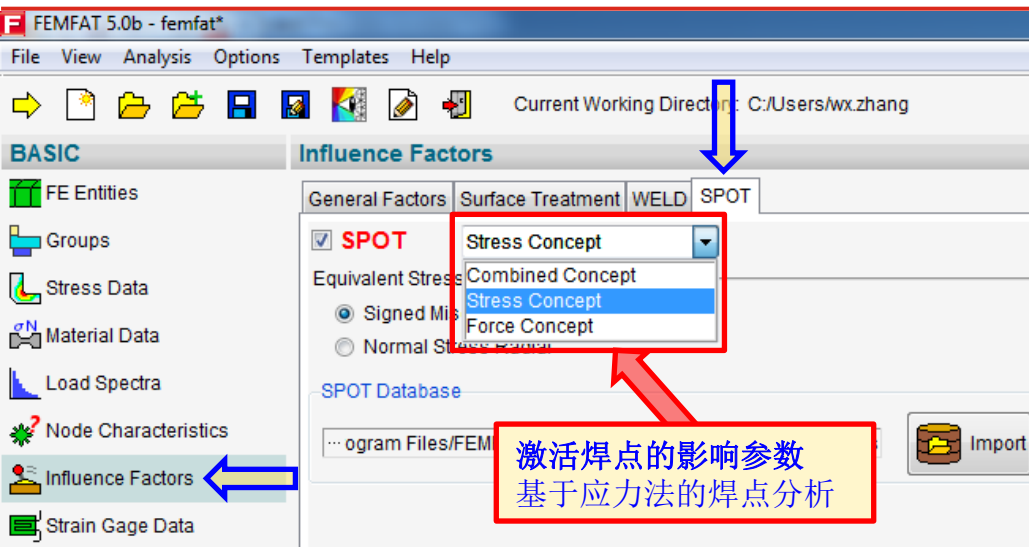
目前焊点和铆钉可作为点连接结构类型，对于铆钉连接，只支持I-DEAS MS Universal和NASTRAN bulk文件格式。

有两种不同的等效应力可用于焊点的评估：

- Signed Mises stress
- Radial normal stress

导入焊点数据库

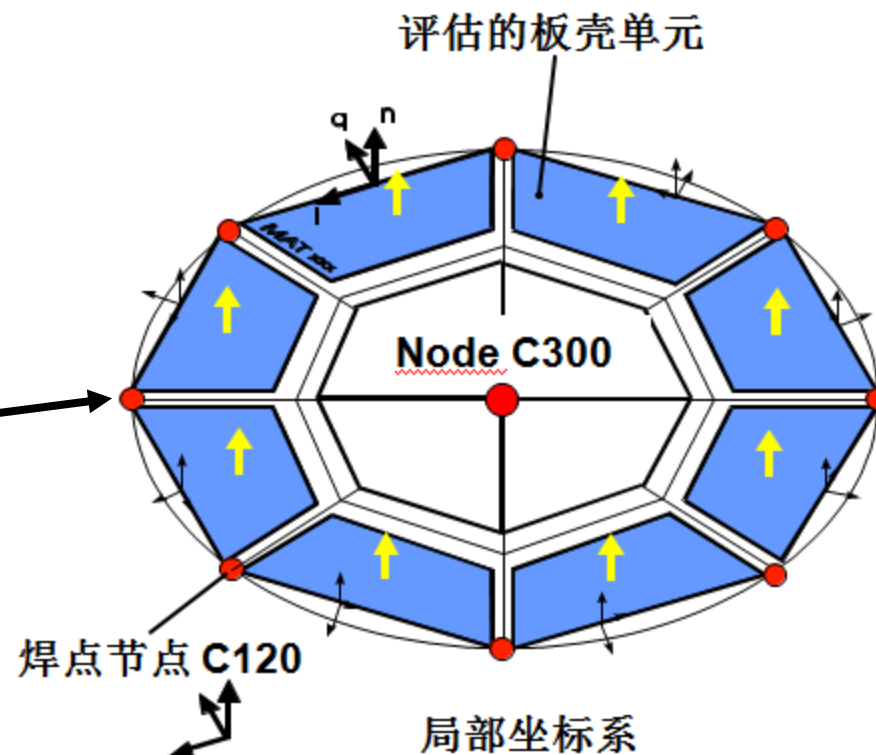
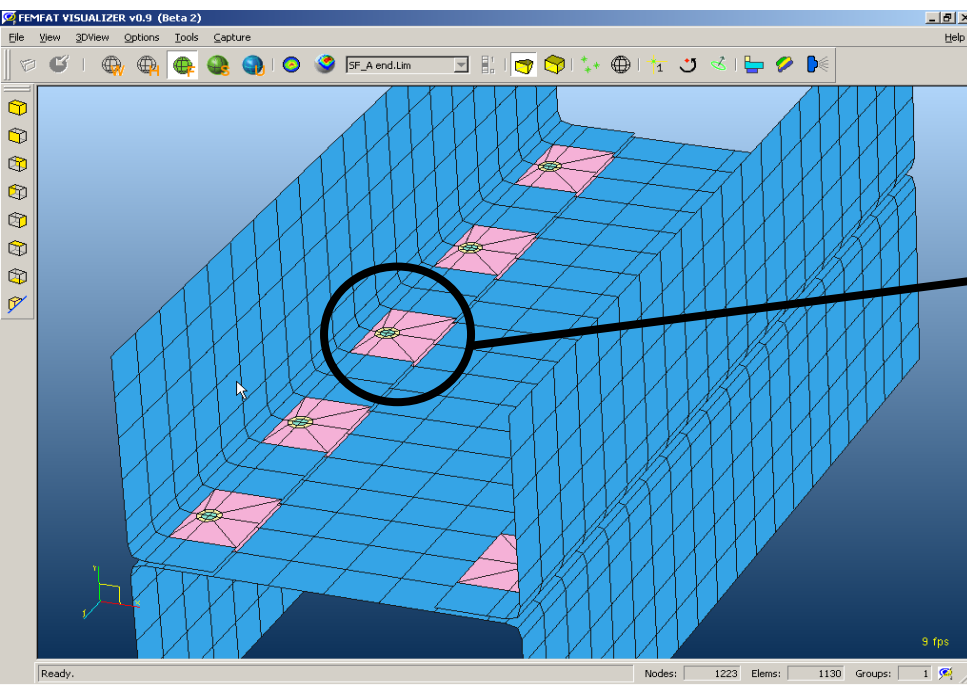
必须载入焊点数据库以进行焊点评估。启动程序时，根据语言设置，默认读取 `tzs_spot50g.dbs` 或者 `tzs_spot50e.dbs`。

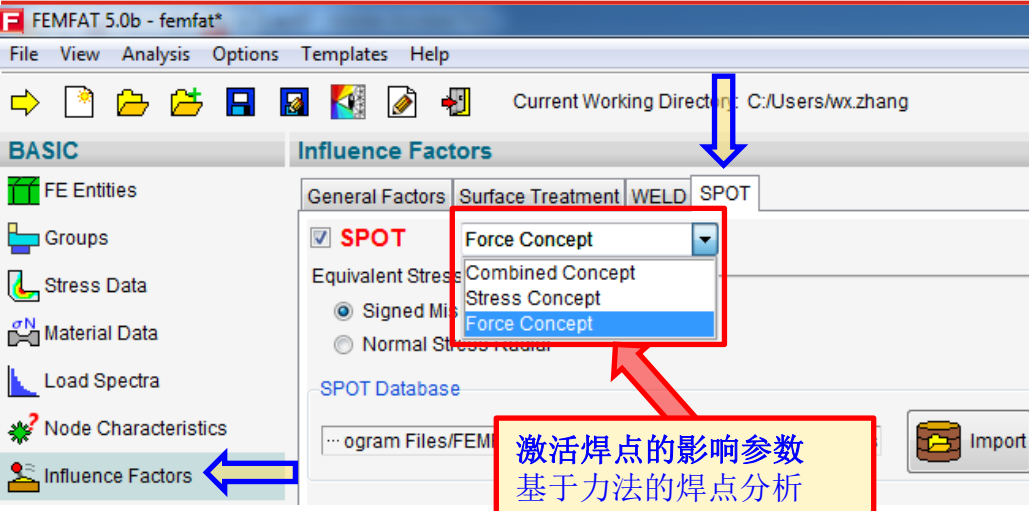


焊点评估方法

- Combined concept 基于下面2种方法的综合法
- Stress concept 基于应力的方法
- Force concept 基于力的方法

基于应力的方法: 应用FEMFAT SPOT网格重新划分工具生成焊核单元，并基于应力进行评估。



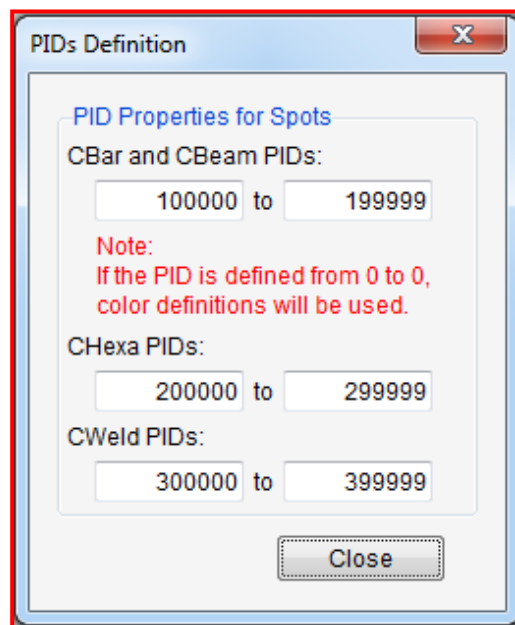


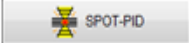
焊点评估方法

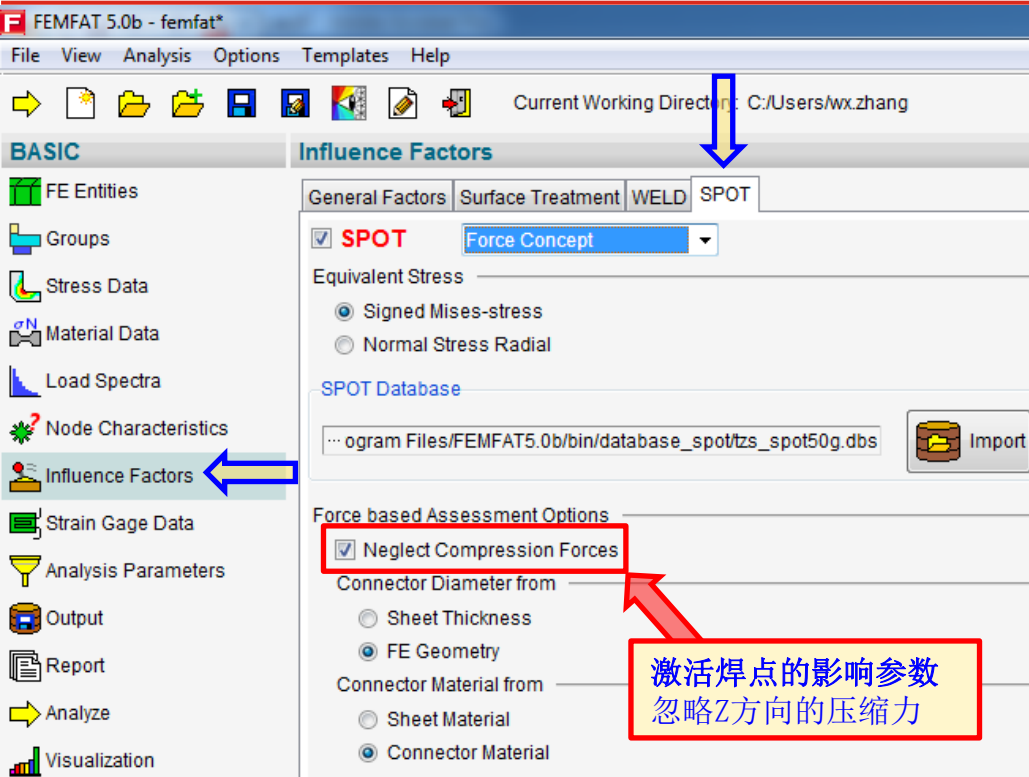
- Combined concept 基于下面2种方法的综合法
- Stress concept 基于应力的方法
- **Force concept** 基于力的方法

基于力的方法：通过CBAR, CBEAM, CHEXA 或 CWELD来模拟焊点单元，并对连接焊点单位的节点的内部受力和力矩进行评估。在应用力法的时候，需满足如下的条件：

1. 点状的焊接
2. NASTRAN 或 MEDINA格式模型文件
3. NASTRAN op2 或 MEDINA格式的应力和内部受力文件



基于单元的PID将自动识别焊点单元，因此对于每个焊点单元类型，必须在用户界面FEM entities（有限元模型数据）里，点击  打开PID范围定义对话框，指定焊点单元的PID范围。PID在此定义范围内的所有CBAR, CBEAM, CHEXA 和 CWELD单元，将自动识别为焊点单元并作为焊点进行疲劳评估。对于CBAR和CBEAM单元，可以通过节点颜色或位移坐标系进行焊点的定义，在这种情况下PID范围必须明确的设置为0到0。

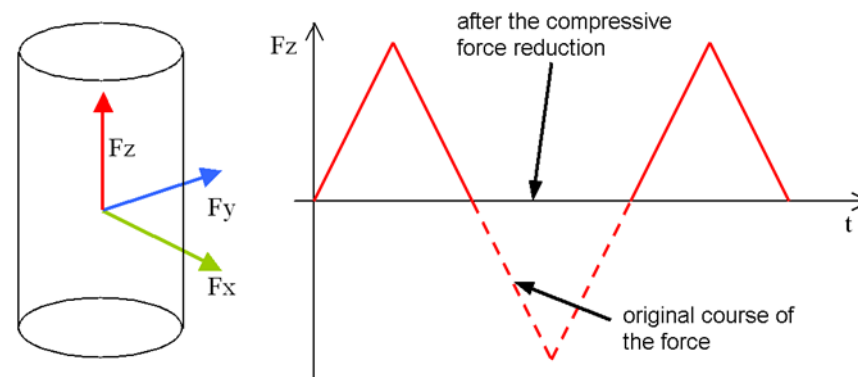


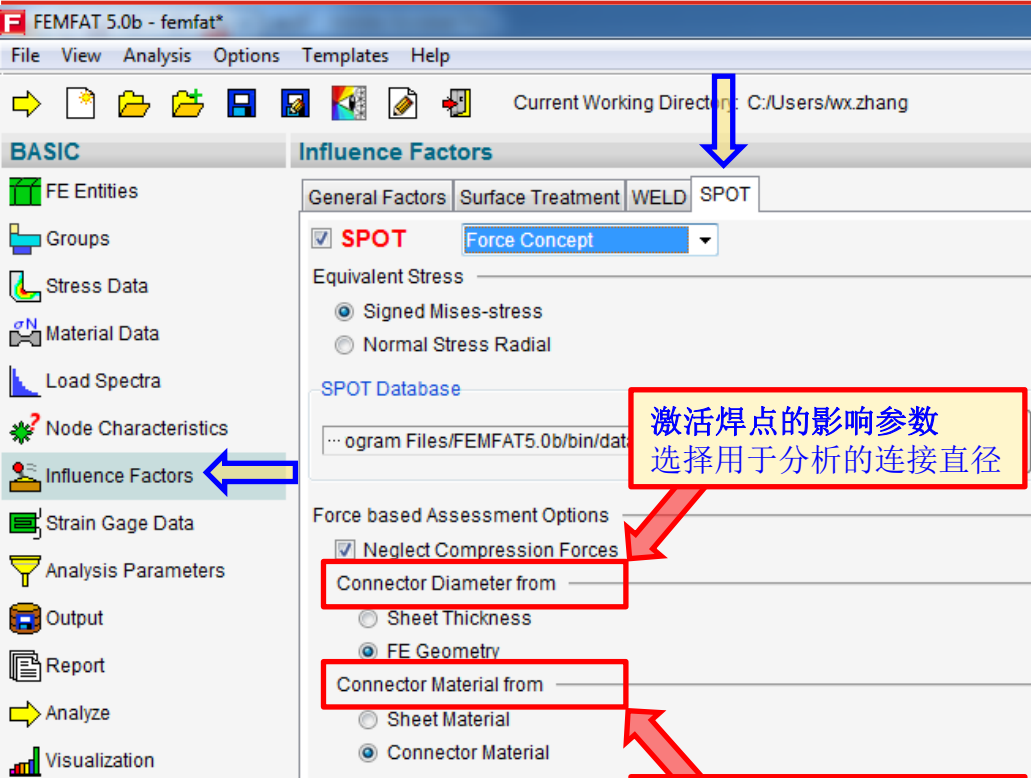
焊点评估方法

- Combined concept 基于下面2种方法的综合法
- Stress concept 基于应力的方法
- **Force concept** 基于力的方法

基于力的方法（忽略Z方向的压缩力）：

对于基于力进行评估的分析方法可以忽略Z方向的单元力的压缩受力分量（在单元坐标系中）。因为在CBAR, CBEAM, CHEXA和CWELD单元中Z向压缩力分量通常远大于实际焊点的压缩力。在默认情况下压力缩减选项是被激活的。如果不激活此选项，当焊点处于压力载荷下时，将会产生非常大的损伤值。





焊点评估方法

- Combined concept 基于下面2种方法的综合法
- Stress concept 基于应力的方法
- **Force concept** 基于力的方法

选择用于分析的连接直径:

焊点评估所用直径可以通过以下两种方式定义:

1. 薄板厚度 (公式): $Diameter = Factor SK * \sqrt{Sheet\ thickness}$
用于计算直径, 其中SK来自焊点数据库, 与C300对应。

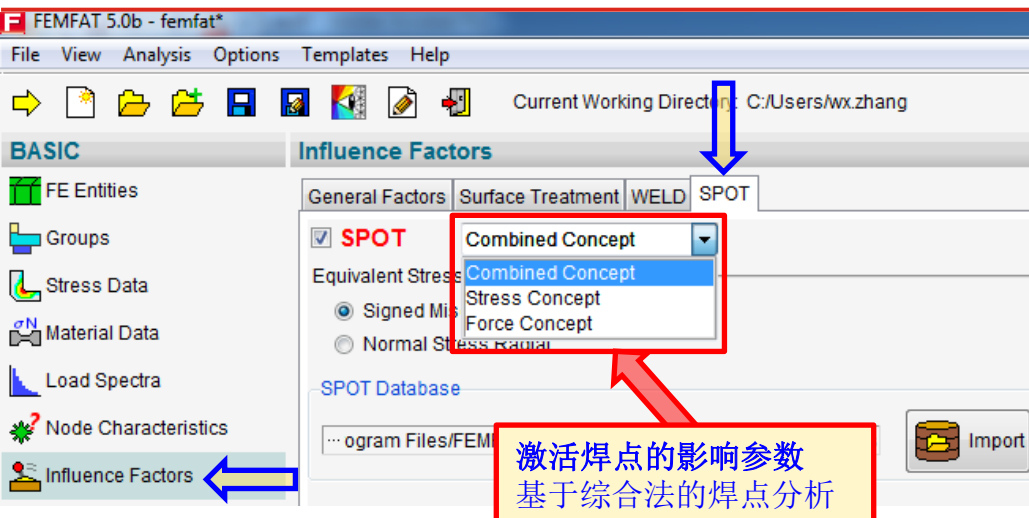
2. 有限元几何结构:

此选项使用单元 (CBar, CBeam和CWeId) 的属性卡中的直径, 或者采用与相应的CHexa单元相同的表面面积来定义直径。

选择用于分析的连接材料:

焊点连接单元材料的获得途径:

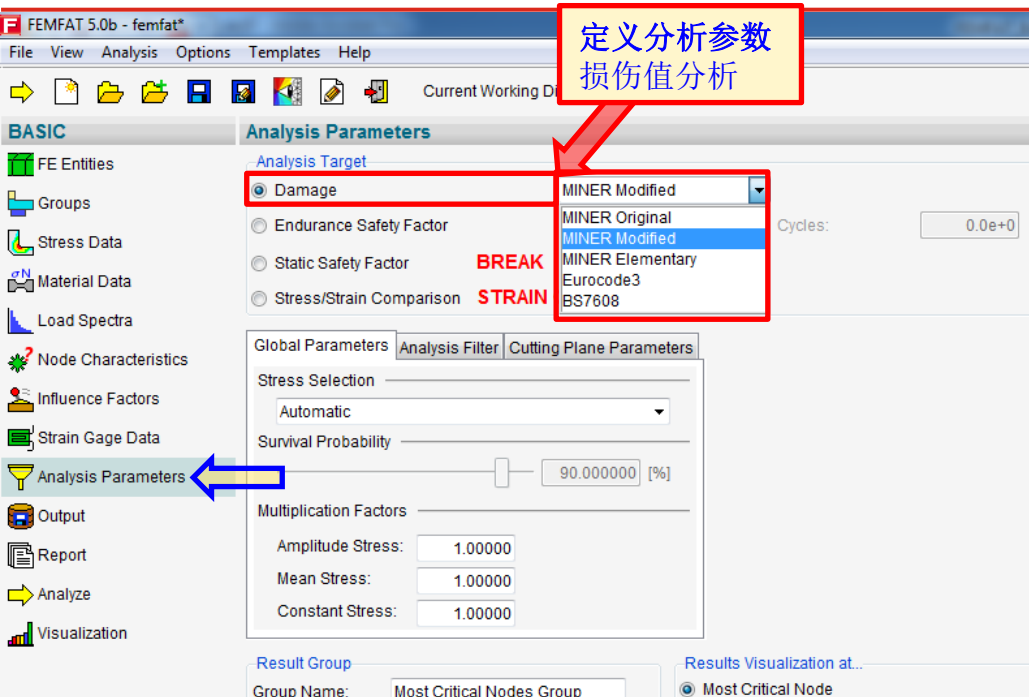
1. 从相连的板壳单元
2. 直接从连接单元



焊点评估方法

- Combined concept 基于下面2种方法的综合法
- Stress concept 基于应力的方法
- Force concept 基于力的方法

综合法: 合并了2种方法，分别对基于应力和力定义的焊点进行评估。



分析目标

对于期望的分析结果有如下的分析选项：

1. Damage 损伤值
 2. Endurance Safety Factor 耐久安全系数
 3. Static Safety Factor 静态安全系数
 4. Stress/Strain Comparison 应力应变对比
- 启动程序之后，默认进行“Damage分析”的设置是“Miner modified”。

损伤值

FEMFAT BASIC中，对于损伤分析有5种选项，每种选项用于应力幅值低于疲劳极限的损伤值分析。

1. Miner Original

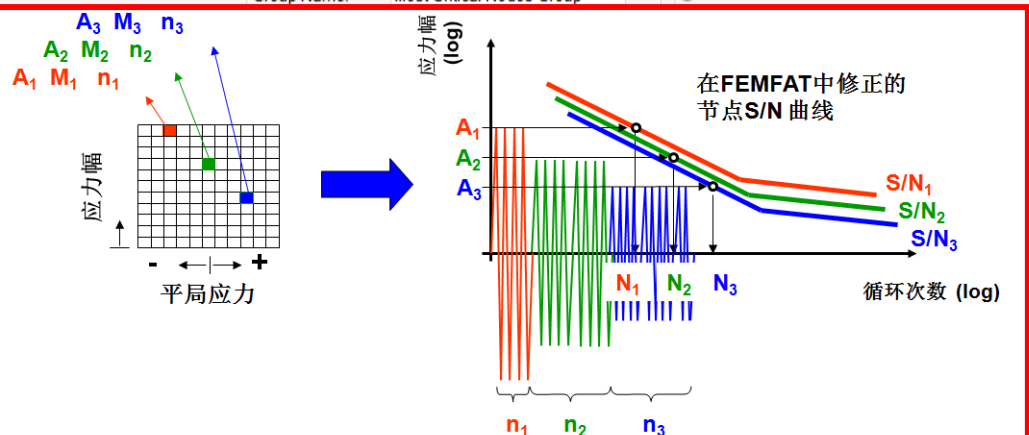
此选项假设低于疲劳强度极限的应力幅值将不产生疲劳损伤。

2. Miner Modified (默认值)

S/N曲线在低于疲劳极限以下的斜率为 $k_{mod} = 2k - 1$ 。

3. Miner Elementary

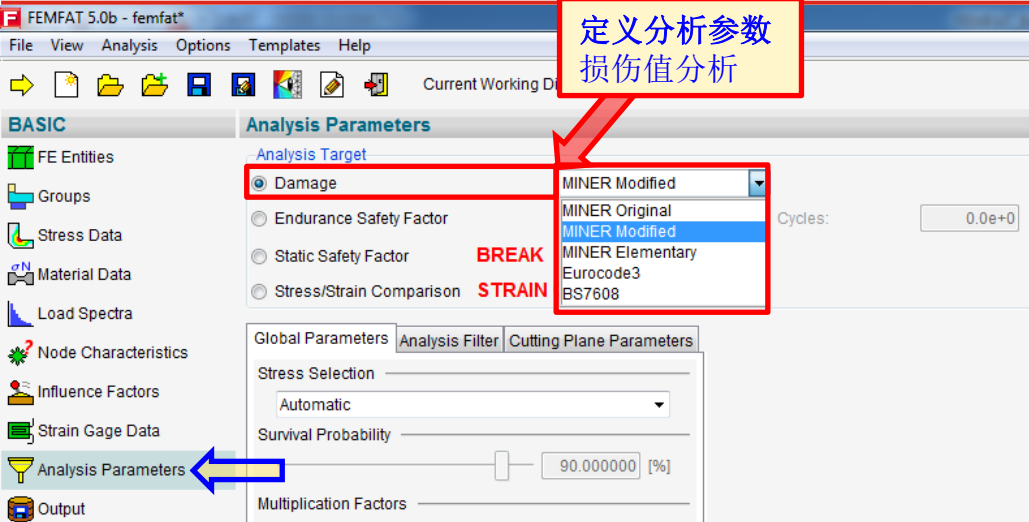
低于疲劳极限的S/N曲线的斜率和高于疲劳极限时一样。



$$d_i = \frac{n_i}{N_i}$$

累积损伤值:

$$D = \sum d_i = d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n$$

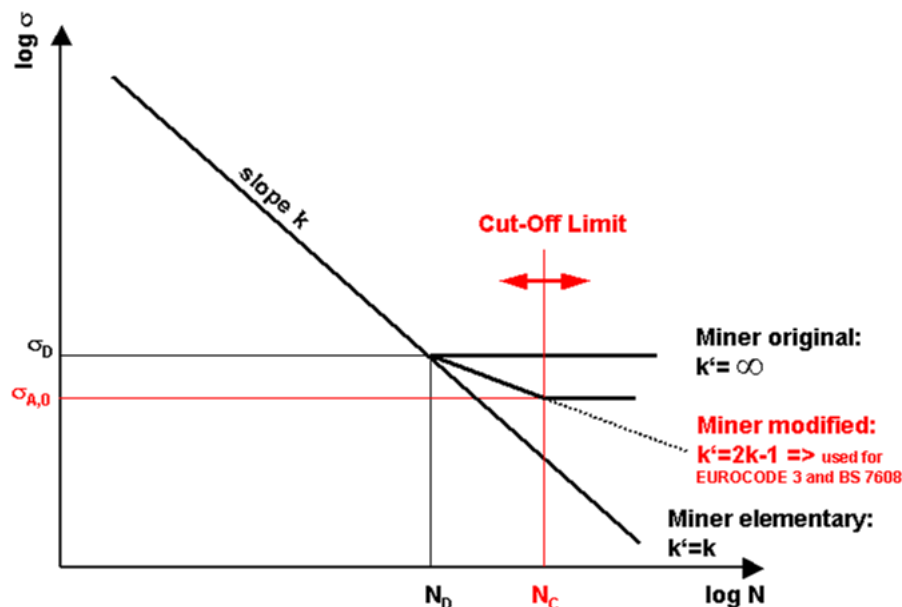


损伤值

4. EUROCODE 3

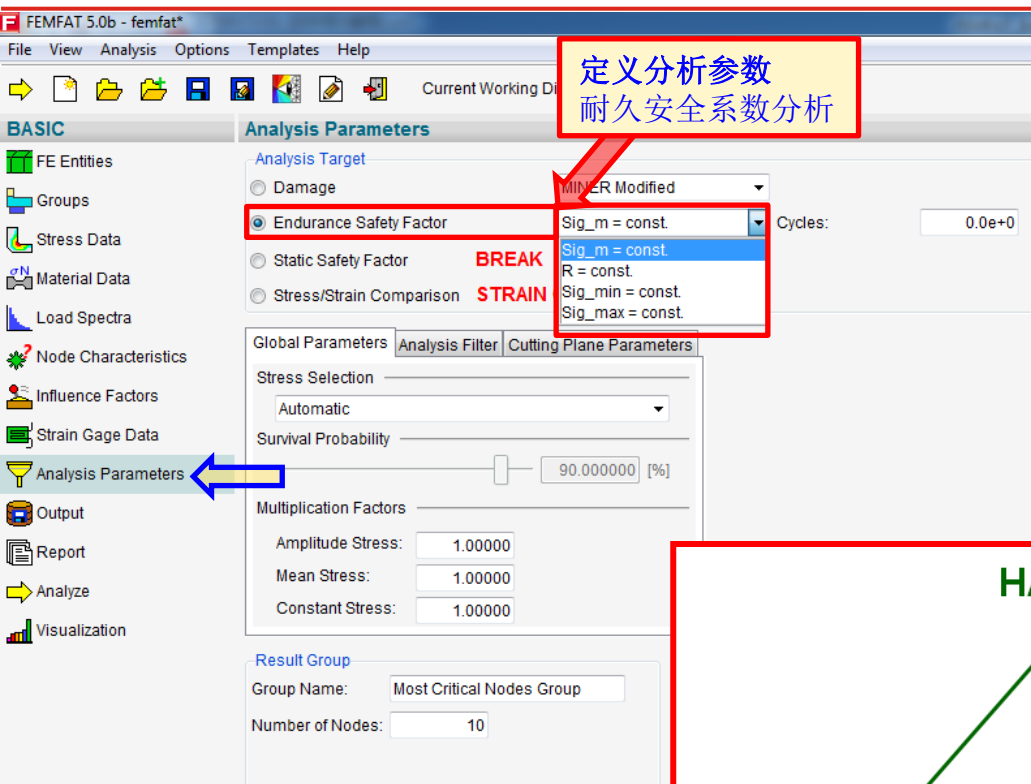
与WELD相同，可以指定载荷循环数 N_c （截止循环极限），S/N曲线在这个循环极限之后的部分将保持水平。对应的截止应力幅值是 $\sigma_{A,0}$ 。默认的NC是100,000,000个循环次数。

如果选择了EUROCODE 3或BS 7608，在截止应力处将采用修正的斜率（ $k' = 2k - 1$ ）。在疲劳分析中将忽略应力幅值低于 $\sigma_{A,0}$ 的载荷谱分量。



5. BS 7608

与EUROCODE 3方法类似，在截止循环极限之后的S/N曲线部分将保持水平。与EUROCODE 3不同之处在于，当其中任何一个载荷谱分量幅值大于 $\sigma_{A,0}$ ，在采用BS7608进行分析的时候将考虑**所有的**载荷谱分量（即使某些幅值是很小的情况下）。

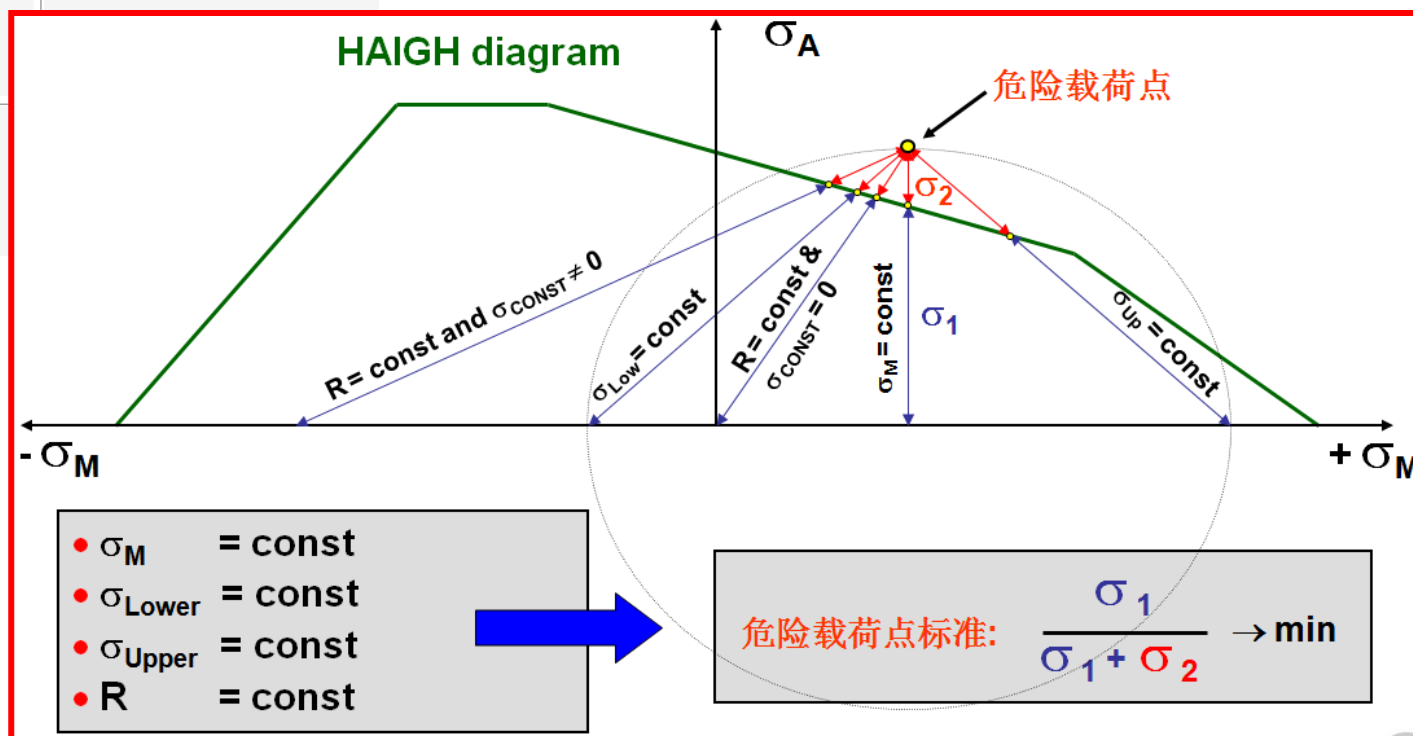


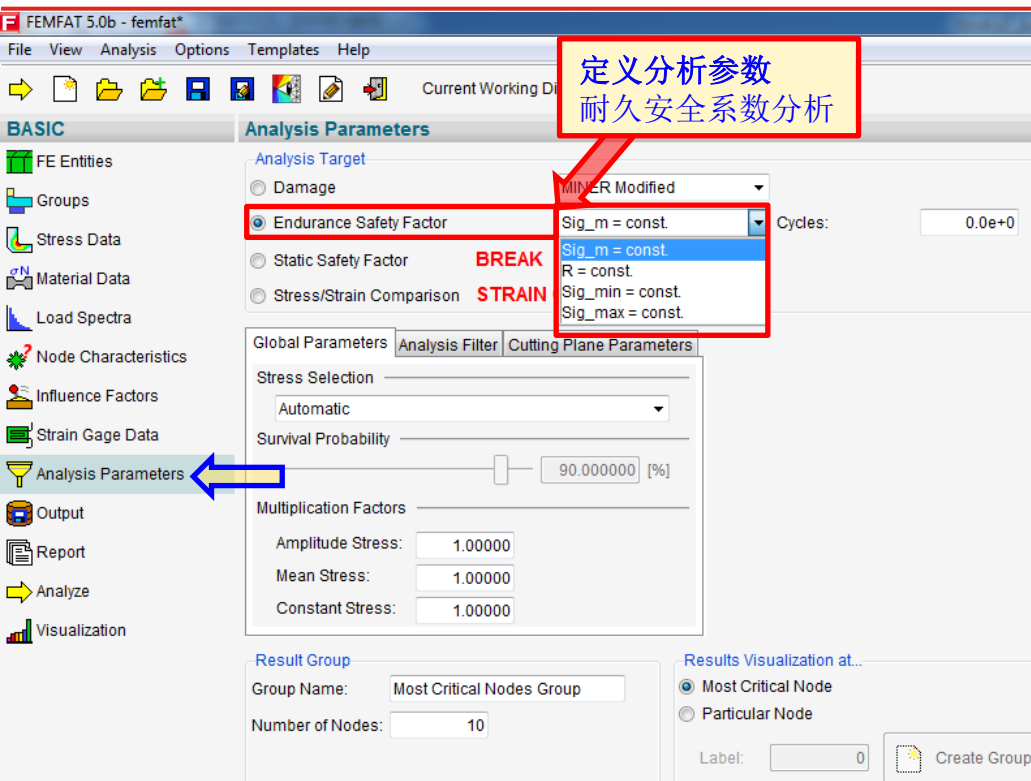
耐久安全系数

原则上，耐久安全系数分析与损伤分析有着相同的先决条件（例如，应力数据、影响参数、计算方法等）。不同的是，对于耐久安全系数分析，无需载荷谱。

计算耐久安全系数时，可以考虑根据德国FKM标准定义的选项：

- F1 - 恒定平均应力下的安全系数 $\text{Sig_m} = \text{const.}$ (默认)
- F2 - 恒定应力比下的安全系数 $R = \text{const.}$
- F3 - 恒定最小应力下的安全系数 $\text{Sig_min} = \text{const.}$
- F4 - 恒定最大应力下的安全系数 $\text{Sig_max} = \text{const.}$





耐久安全系数

在分析焊缝节点的时候可以选择这些选项。但是对于焊点节点来说，无论选择什么选项，仍然以恒定应力比R进行分析。默认设置为恒定平均应力安全系数。

对于耐久安全系数有2种不同的计算方法：

耐久极限安全系数A

$$SF_A = \frac{\sigma_{Azul}}{\sigma_a}$$

其中 σ_{Azul} ... 最大许可应力幅值

σ_a ... 实际应力幅值

最小耐久安全系数 (S_d)，例如在恒定平均应力选项下的 $S_d=1.2$ 的话，可以解释为：为使“恒定平均应力”和可能存在的“残余应力”下的耐久安全系数 S_d 达到 1.0，必须增加应力幅值乘以一个 1.2 的系数。

耐久极限安全系数B

$$SF_B = \frac{\sigma_{Azul} + |\sigma_{Mzul}|}{\sigma_a + |\sigma_M|}$$

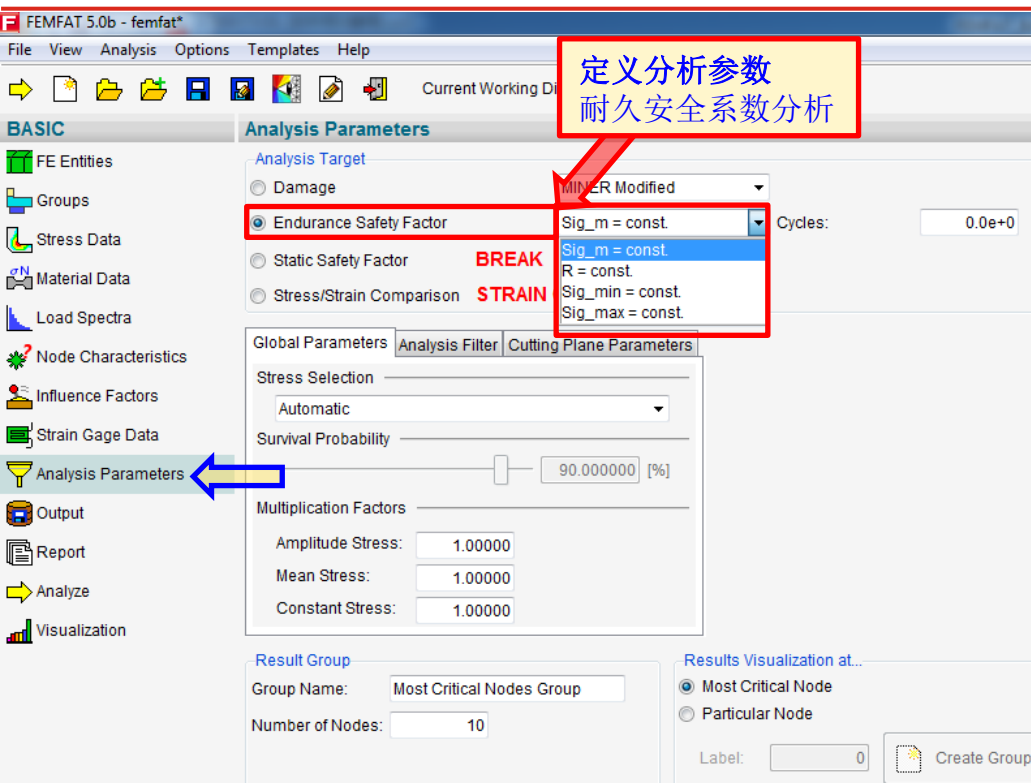
其中 σ_{Azul} ... 最大许可应力幅值

σ_{Mzul} ... 最大许可平均应力

σ_a ... 实际应力幅值

σ_M ... 实际平均应力

最小耐久安全系数 (S_d)，例如在最大应力选项下的 $S_d=1.2$ 的话，可以解释为：为使耐久安全系数 S_d 达到 1.0，可以乘以一个 1.2 的系数来增加总的应力（幅值+平均应力+可能的恒定应力）。



对于耐久安全系数有2种不同的计算方法:

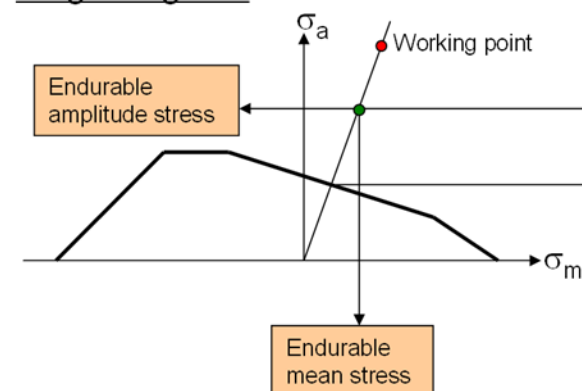
耐久极限安全系数A 和 B

如果 S_d 的值都为1.0, 或是未激活平均应力, 或是未激活恒定应力的影响的话, 这2种不同的耐久安全系数的计算结果将会获得相同的数值。否则, 这2种安全系数的差别会很大, 尤其是如果平均应力很高的话。

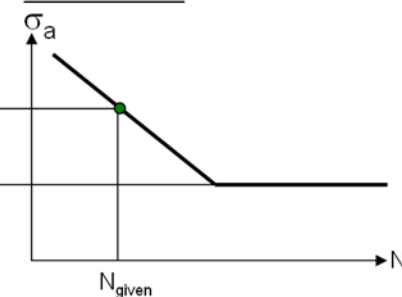
默认情况下, 将使用局部疲劳极限来计算耐久安全系数。但是如果用户定义了一个载荷循环次数的话, 耐久安全系数的计算将使用对应的应力极限, 而非疲劳极限。从零部件局部S/N曲线可以计算出应力极限。

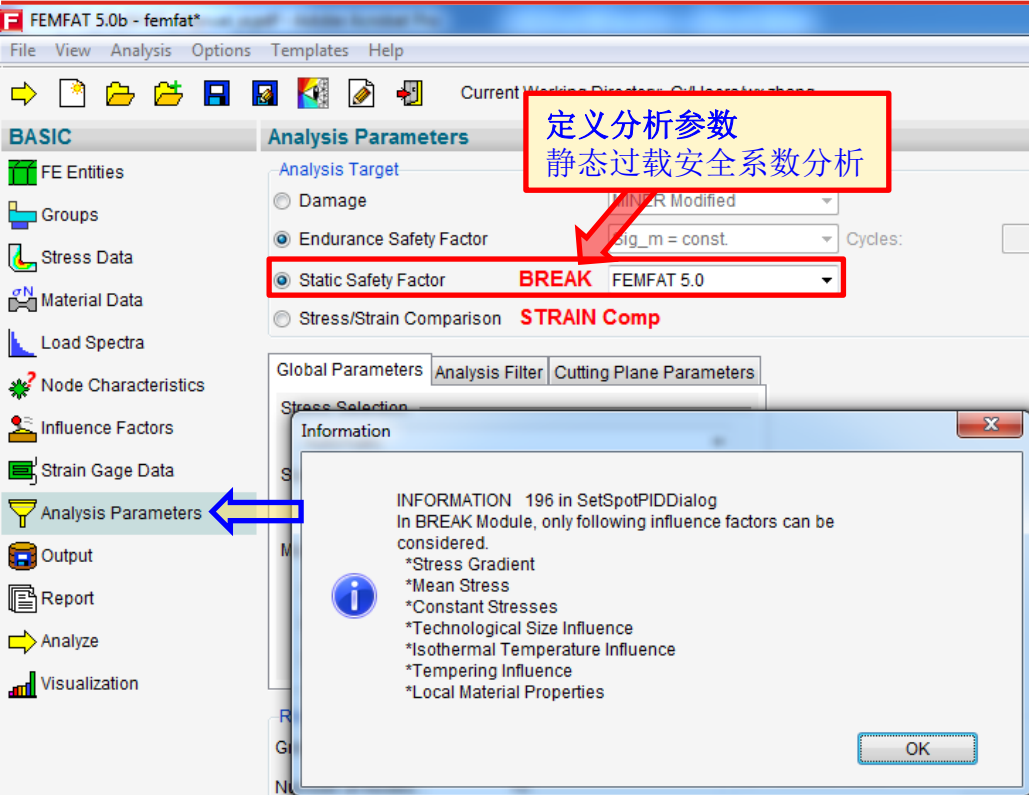
下图为 $R=const.$ 的话, 对于给定的载荷循环数, 计算应力极限

Haigh-diagram:



S-N curve:

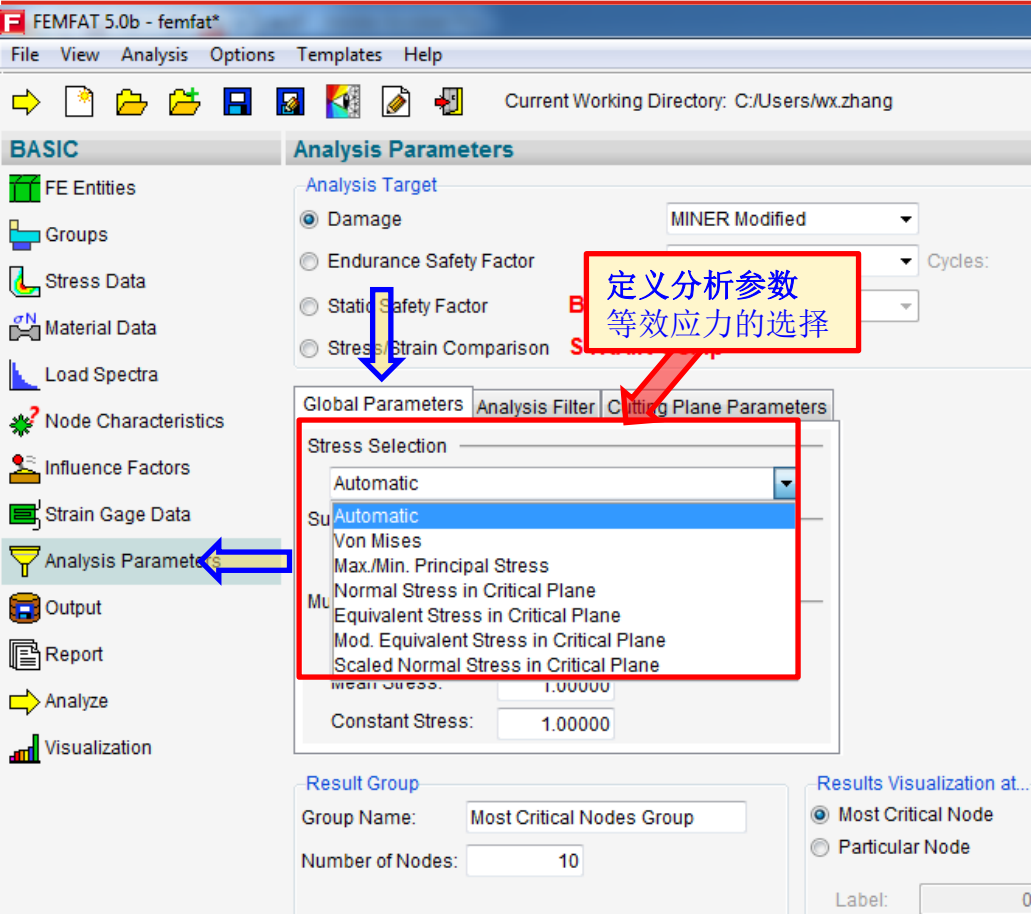




静态过载安全系数

利用FEMFAT BREAK模块来计算静态过载安全系数是不需要载荷谱的。FEMFAT的参数设置条件耐久安全系数相同，在计算时可以激活如下的影响选项：

- 应力梯度的影响
- 平均应力的影响
- 常量应力的影响
- 工艺尺寸的影响
- 恒定温度的影响
- 回火的影响
- 局部材料特性的影响



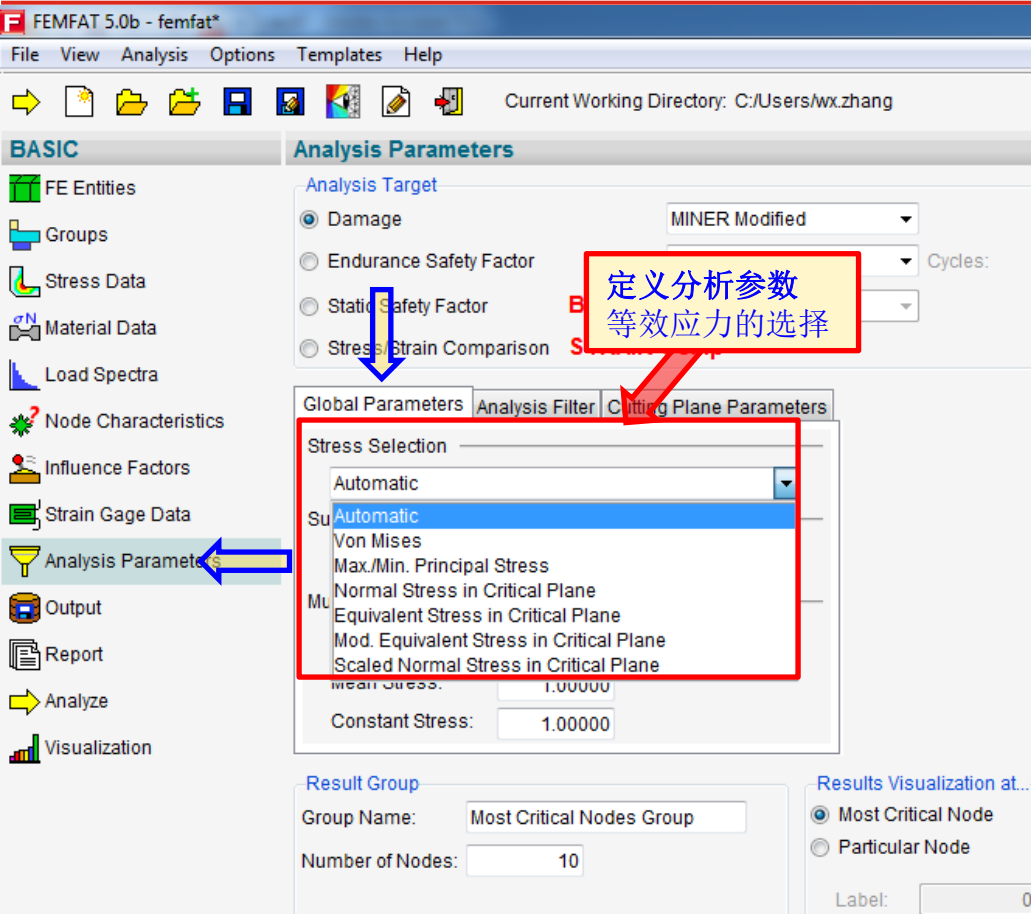
全局参数的设置

用户可选择一种方法来计算等效应力。另外可以为统计学影响设定所需的存活率，还可以定义应力的缩放系数。

等效应力的选择

目前可选的方法如下：

- Automatic - FEMFAT自动选择等效应力（默认）
- Von MISES -例如最大剪切应变能标准
- maximum or minimum principal stress
-最大或最小主应力的绝对值作为应力幅值进行评估。
- Normal stress in critical plane
-在危险截面上的主应力
- Equivalent stress in critical plane
-在危险截面上的等效应力
- Modified equivalent stress in critical plane
-在危险截面上修正的等效应力
- Scaled normal stress in critical plane
-在危险截面上的按比例缩放的主应力



等效应力的选择

- Equivalent stress in critical plane
- 在危险截面上的等效应力

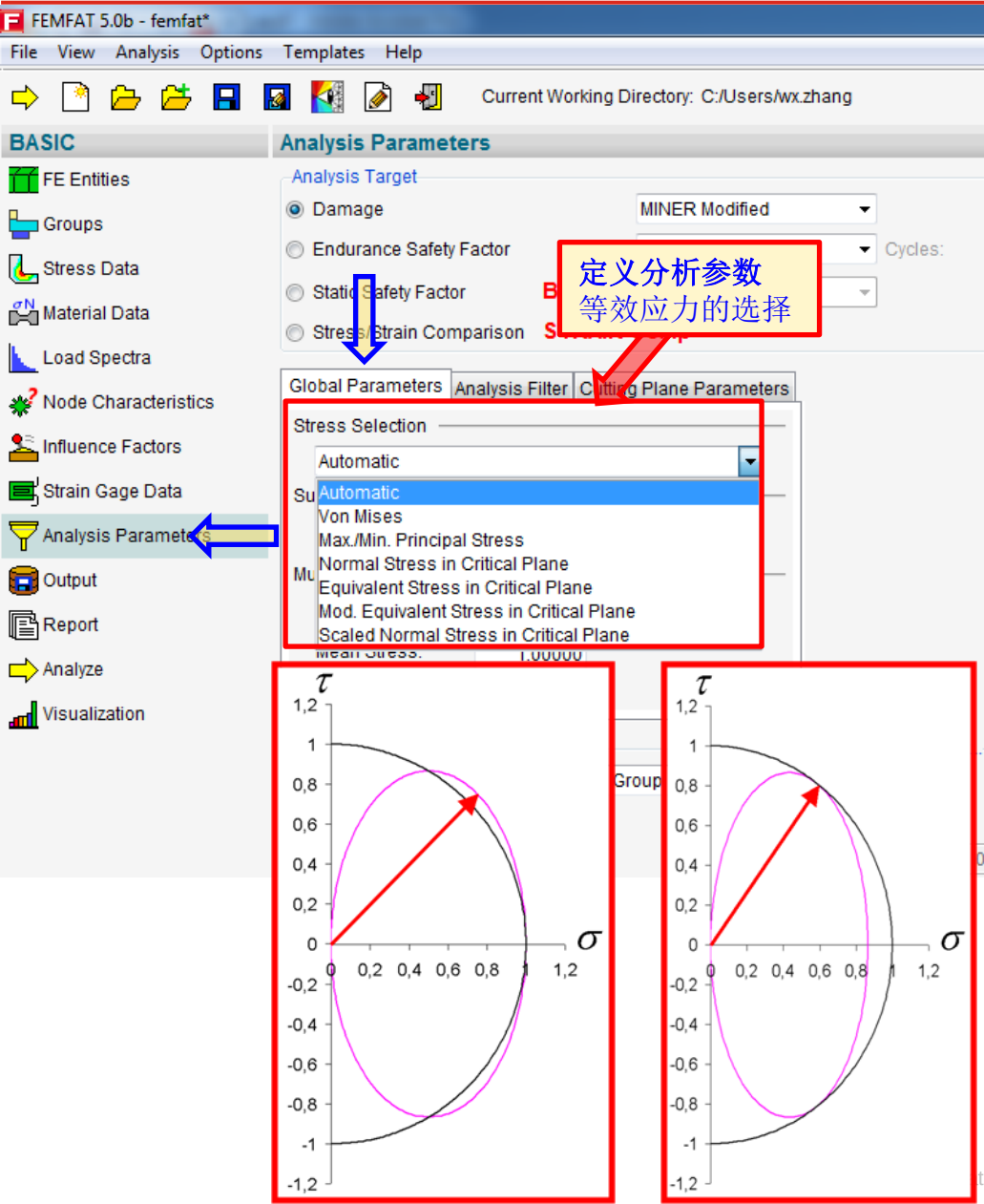
计算公式:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{an}^2 + \left(\frac{\sigma_{w,ZD}}{\tau_w} \right)^2 \cdot \tau_a^2}$$

- σ_v ... 危险截面等效应力
- σ_{an} ... 危险截面法向应力幅值
- τ_a ... 危险截面剪切应力幅值
- $\sigma_{w,ZD}$... 交变拉压疲劳强度
- τ_w ... 剪切交变疲劳强度

在此公式中包含了拉/压疲劳强度的比值，因此是和材料属性相关的： $k = \frac{\sigma_w}{\tau_w}$

借助于上述获得的等效应力幅值，可以从拉压S/N曲线中获得循环极限的数值。由于剪切应力的作用，会降低扭转载荷下的疲劳寿命。



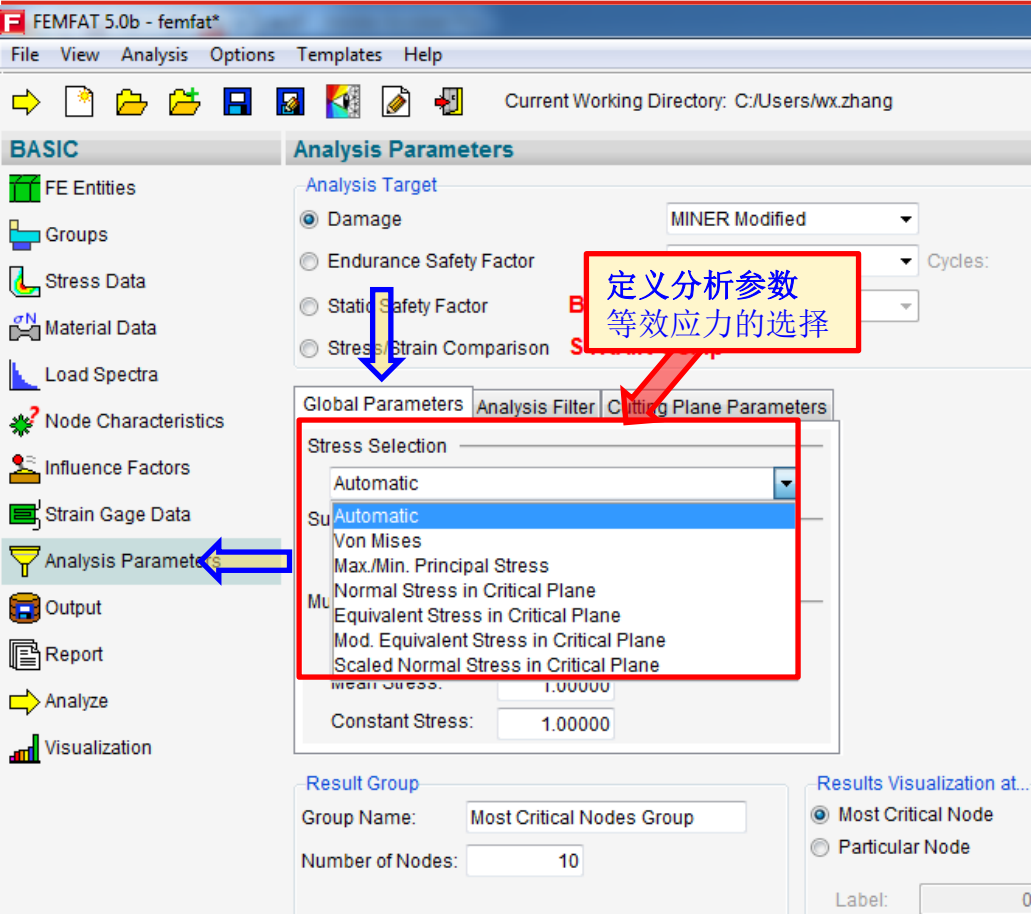
等效应力的选择

- Modified equivalent stress in critical plane
-在危险截面上修正的等效应力

当 $k \leq \sqrt{2}$ 时，对于危险截面上的等效应力，上述公式是非常准确的。对于 $k > \sqrt{2}$ 的拉压载荷下，公式将产生误差（通常较小）。对于 $k = \sqrt{3}$ 的情况请看左下图。这是拉应力载荷下的标准莫尔应力圆，因剪切应力的影响变形为椭圆。危险截平面由距离原点最远的椭圆上面的点来确定的。对于拉应力来说，此点应该是与法向应力轴的交点。然而由于变形的原因，此点向上进行了偏移（红色箭头）。这将导致等效应力过大。当 $k = \sqrt{3}$ ，误差约为6%。对于 $k > \sqrt{2}$ 的情况，FEMFAT可以对危险截面修正等效应力：

$$\sigma_v = \sqrt{k^2 \left(1 - \frac{k^2}{4}\right) \sigma_n^2 + k^2 \tau^2}$$

如左下方的右图所示椭圆将在水平方向上进行压缩，直到内切于单位圆，这样将提供正确的等效应力。注释注：法向分量的符号将用于等效平均应力。



等效应力的选择

- Scaled normal stress in critical plane
-在危险截面上的按比例缩放的主应力

分析过程如下:

- 对于应力幅值和平均应力计算主法向应力 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$
(任何已存在的恒定应力已被包含进去了)。

- 对于应力幅值和平均应力计算最大最小主法向应力的比值:

$$V = \frac{\sigma_3}{\sigma_1}$$

对于 $|\sigma_1| > |\sigma_3|$ 的情况:

$$V = \frac{\sigma_1}{\sigma_3}$$

对于 $|\sigma_3| > |\sigma_1|$ 的情况:

V的数值介于-1到1之间, 含义如下:

V = -1: 主要为剪切载荷

V = 0: 主要为拉压载荷

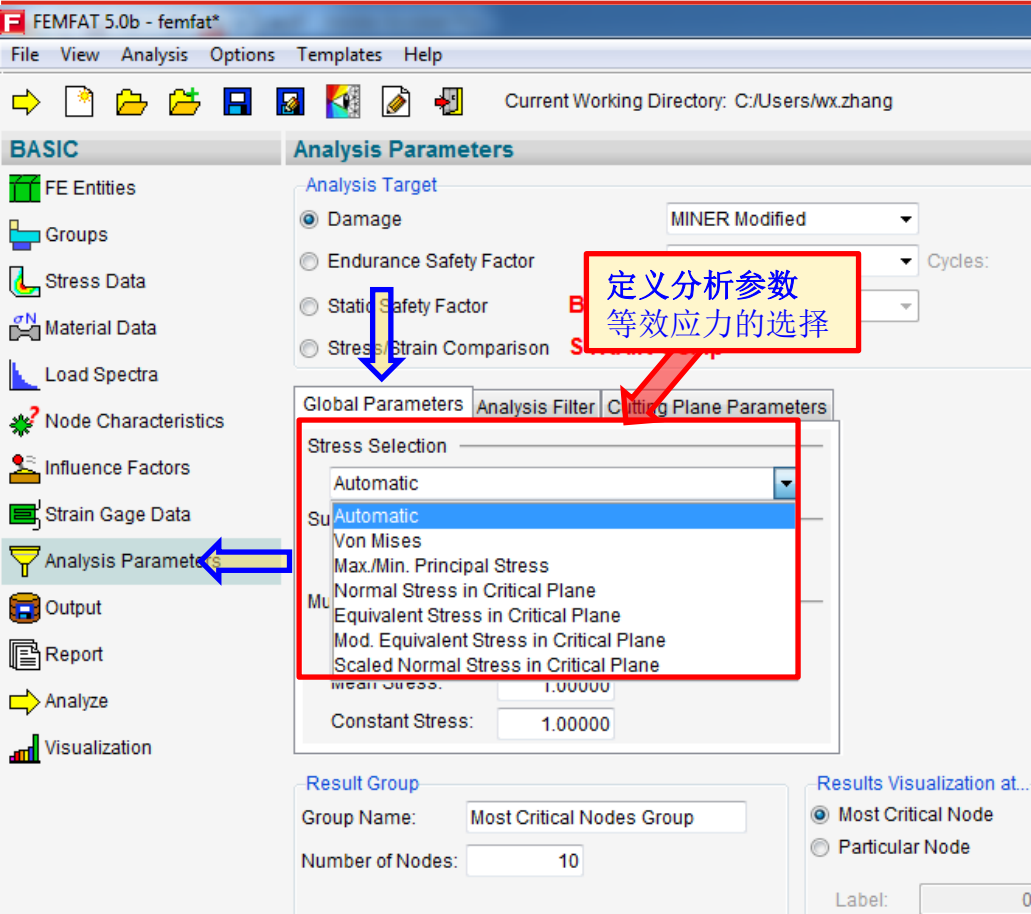
V = +1: 3个法向主应力均相等 (流体静应力状态)

- 应力张量的缩放系数是一个以V为变量的函数, 缩放系数:
 $f = 1 + (1 - k)V$

对于应力幅值 $k = \frac{\sigma_w}{\tau_w}$

对于平均应力 $k = \frac{R_{p0.2,Zug}}{R_{p0.2,Schub}}$

下页继续这个主题



等效应力的选择

- Scaled normal stress in critical plane
-在危险截面上的按比例缩放的主应力

分析过程如下:

- 应力张量的缩放系数是一个以V为变量的函数，缩放系数:

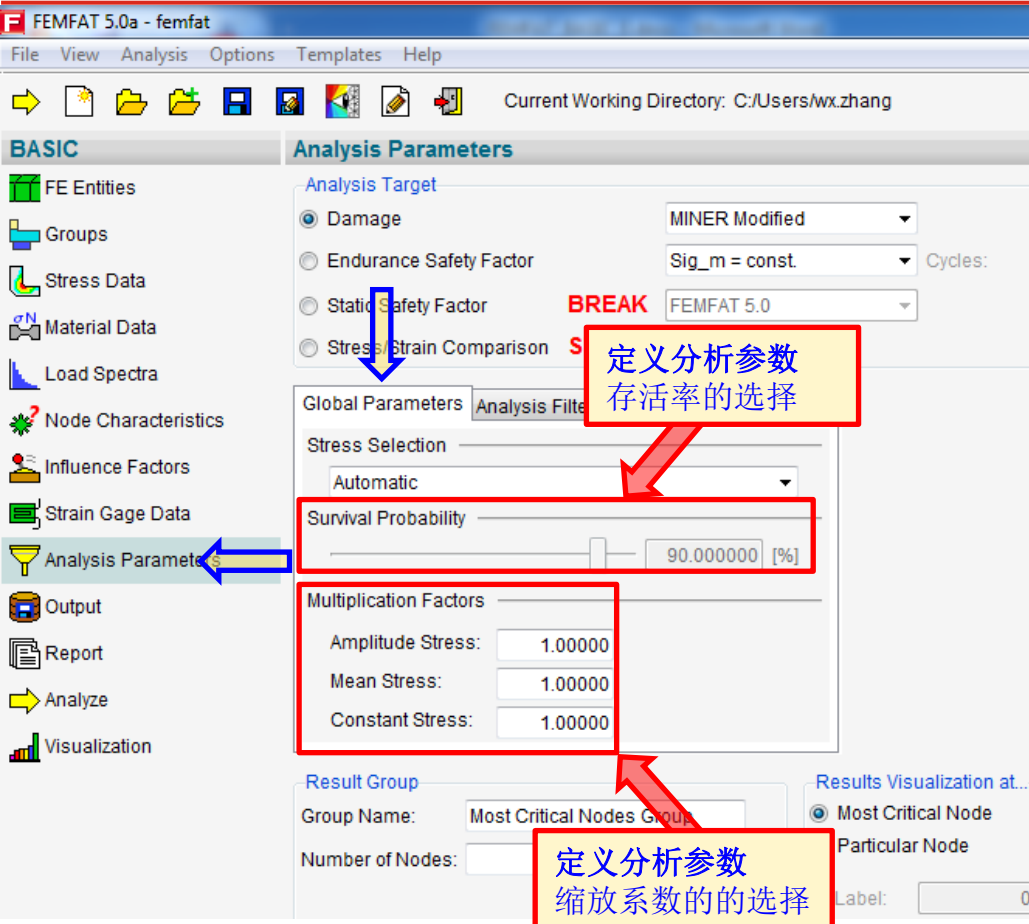
$$f = 1 + (1 - k)V$$

对于应力幅值 $k = \frac{\sigma_w}{\tau_w}$

对于平均应力 $k = \frac{R_{p0,2,Zug}}{R_{p0,2,Schub}}$

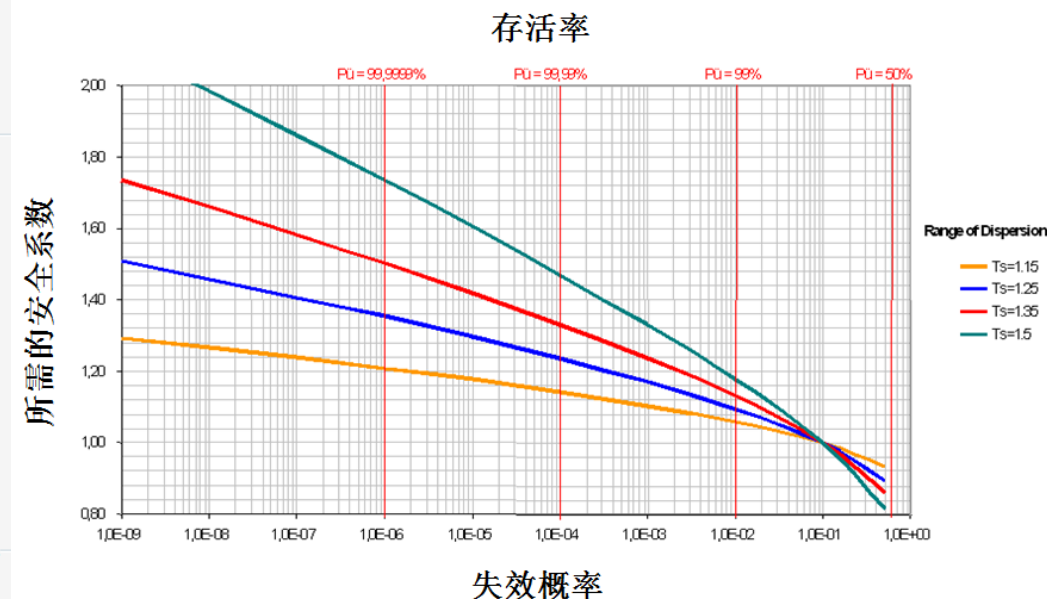
对于拉压，应力保持不变。对于剪切，将乘以放大系数k，来模拟更大的剪切损伤效应。对于3个法向主应力均相等的状态，缩放系数f将进行线性外差值。这样做是有意义的，因为与之相关联的应力状态缩减将遵从最大剪切应变能准则。

- 这里将选择耐久安全系数最小的危险截面（可允许的应力幅值与真实应力幅值的比值）。
- 当应力选择为“自动”时，
 - 对于灰铸铁将使用normal stress in critical plane
 - 其它材料将使用scaled normal stress in critical plane



存活率的选择

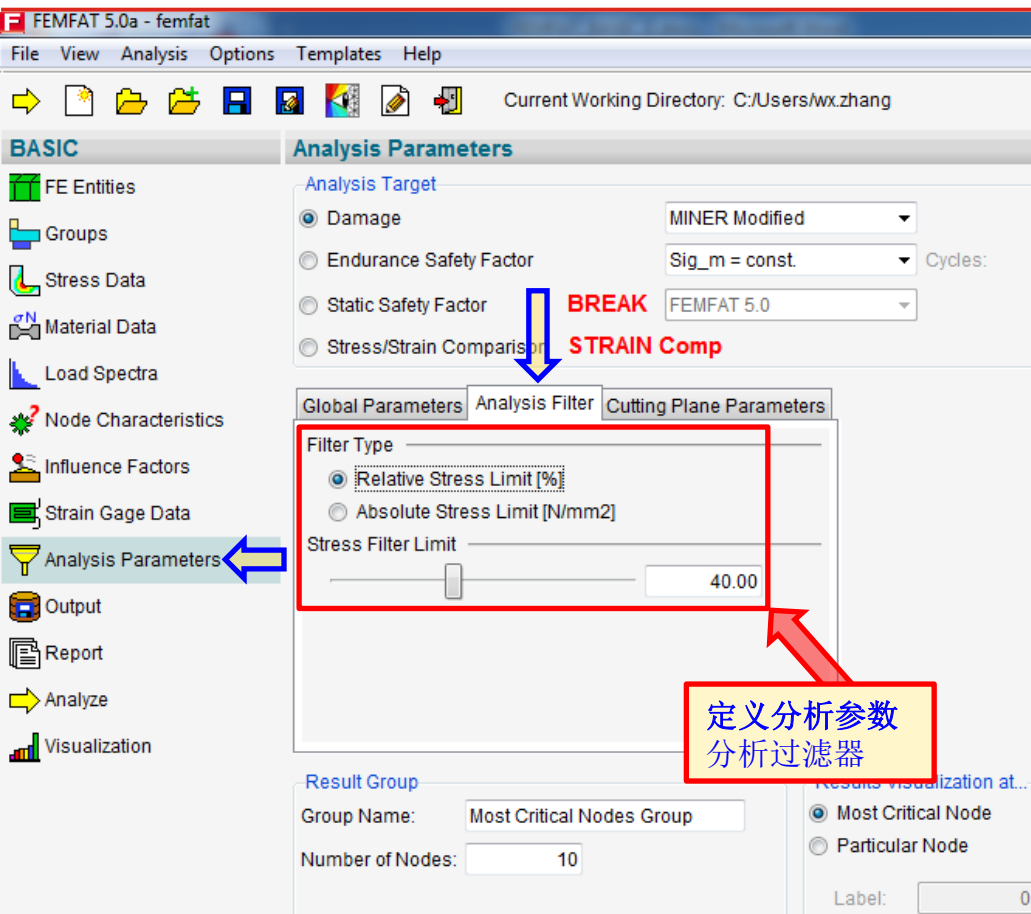
用户可以指定存活概率。默认的设置是90%，也可以自行设定，最高设置是99.9999%。对于零件，可以考虑特殊的质量要求。



这个图显示了存活率、离散度和所需的安全系数之间的关联

缩放系数的选择

这里可以输入应力幅值、平均应力和恒量应力的缩放系数。



分析过滤器的设置

对于很大的有限元模型的疲劳分析需要更长的计算时间。所需的分析时间主要取决于：

- 当前分析组中的节点数
- 雨流矩阵中分配的矩阵单元数（仅针对损伤值分析）
- 是否激活平均应力的影响

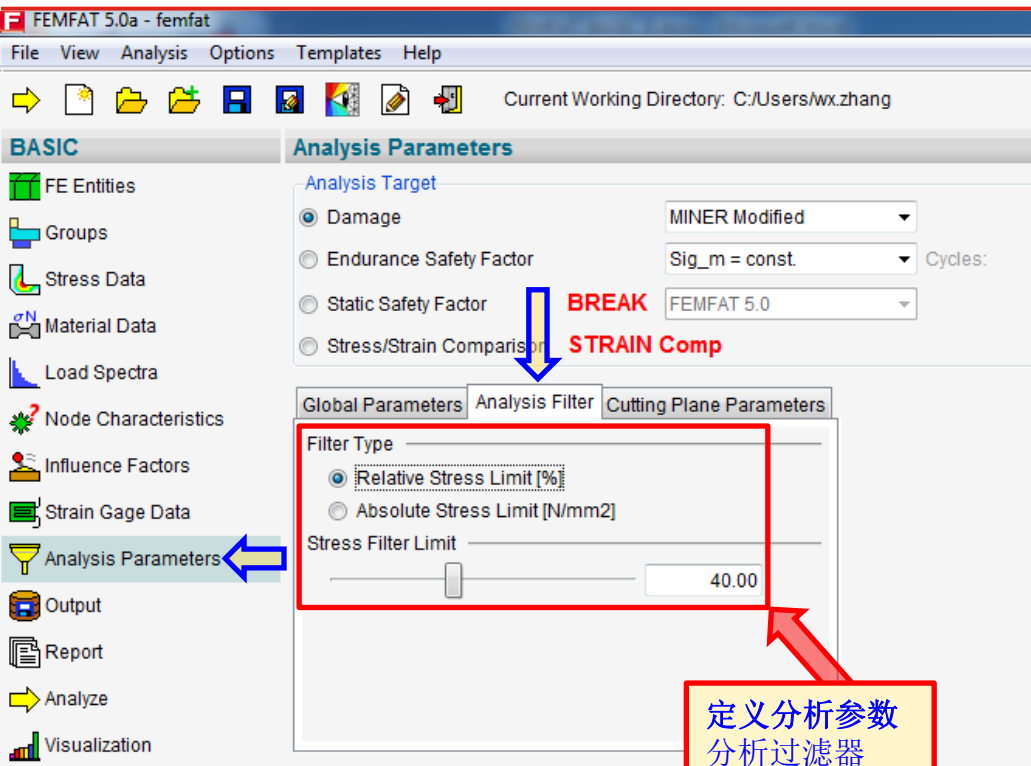
这是一个非常实用的选项，甚至是在非常不利的条件下来减少计算时间，可以定义一个计算过滤。这个过滤器的原理是，当某个节点的最大幅值和平均应力低于某个应力值时，则将不对这个节点进行分析。通过这种方法可以实现，只对那些感兴趣的区域进行疲劳评估。

在定义应力极限时可以选择：

- 相对应力极限 [%]
- 绝对应力极限 [N/mm²]

默认的相对应力极限为40%。也就是说，当某个节点的应力幅值低于局部材料疲劳强度的40%，且其平均应力低于材料最大拉伸强度的40%的话，将不进行分析。在输出的报告中，这些节点的相应结果将分配一个虚拟值。

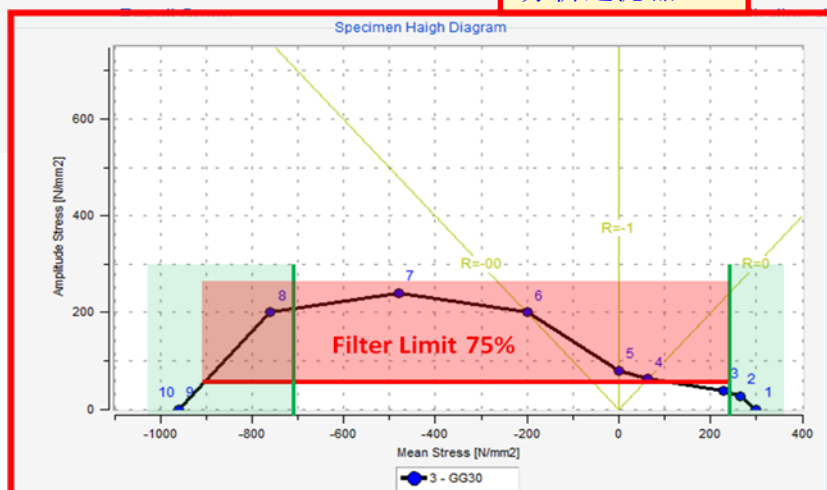
下页继续这个主题



分析过滤器的设置 - 基础材料的节点

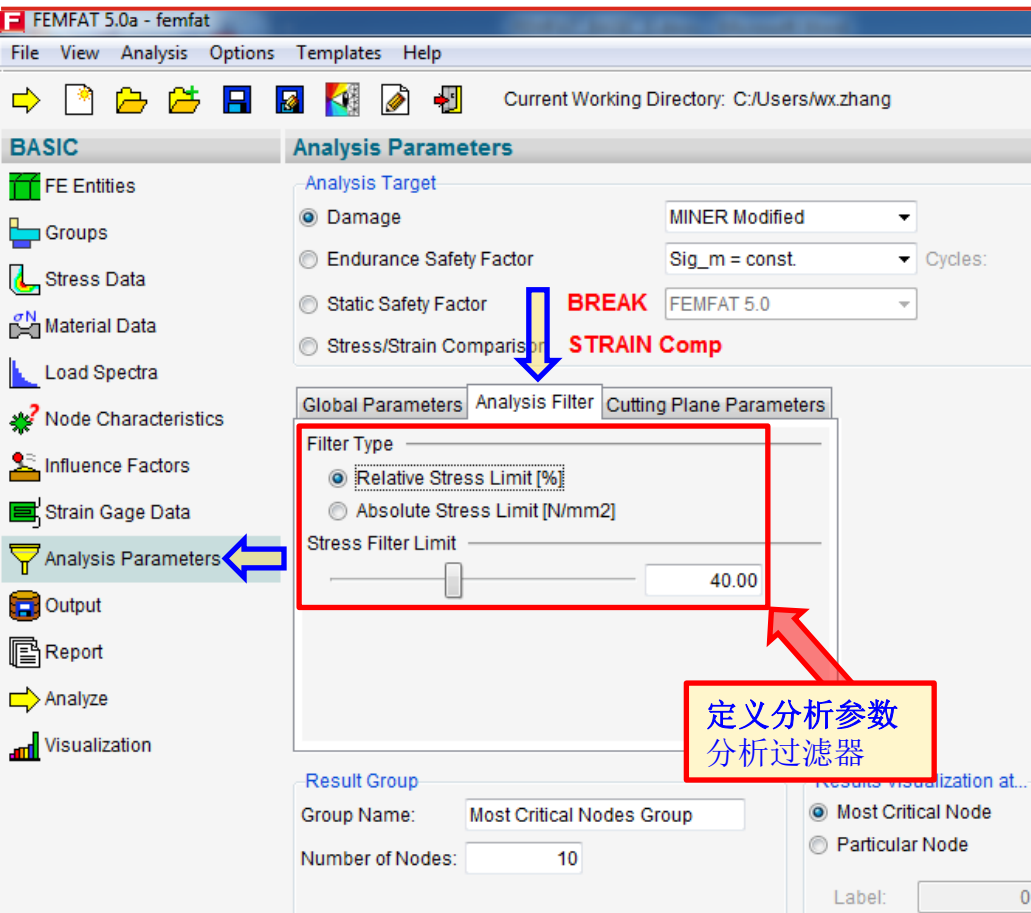
1. 如果将分析过滤器由选项“相对应力极限”改为“绝对应力极限”的话，那么默认情况下过滤器的数值将被设置为0。
2. 如果将分析过滤器由选项“绝对应力极限”改为“相对应力极限”的话，那么默认情况下过滤器的数值将被设置为40%。

将对应力幅值和平均应力进行考虑（见左下图）。当果选择选项“相对应力极限”时，则边界线将取决于交变疲劳极限和静态拉压应力强度。也就是说，75%的过滤值意味着，当节点的应力幅值小于材料疲劳强度的75%，且其平均应力小于静态拉压强度的75%时，将不包括在分析范围内。



当给定了一个绝对过滤值时，将建立一个过滤值 $\sigma_{A,F}$ 与疲劳强度 σ_D 之间的比值： $V = \sigma_{A,F} / \sigma_D$ 。对于拉压的情况，平均应力的过滤极限可以通过比率 V 与材料的强度极限 R_m 相乘来获得。一般来说，对于拉伸和压缩载荷这两种不同的情况，平均应力的过滤极限也是不同的。

只有当平均应力的影响参数被激活时，平均应力才会被过滤器予以考虑。



分析过滤器的设置 - 焊缝的节点

对于焊缝节点的过滤极限定义如下:

- 相对应力极限 (f^{filter} 单位 [%])

$$\sigma_A^{filter} = \sigma_D^{WELD} \cdot f^{filter} \quad \sigma_{M,min}^{filter} = R_{m,D}^{WELD} \cdot f^{filter} \quad \sigma_{M,max}^{filter} = R_{m,Z}^{WELD} \cdot f^{filter}$$

- 绝对应力极限 (f^{filter} 单位 [N/mm²])

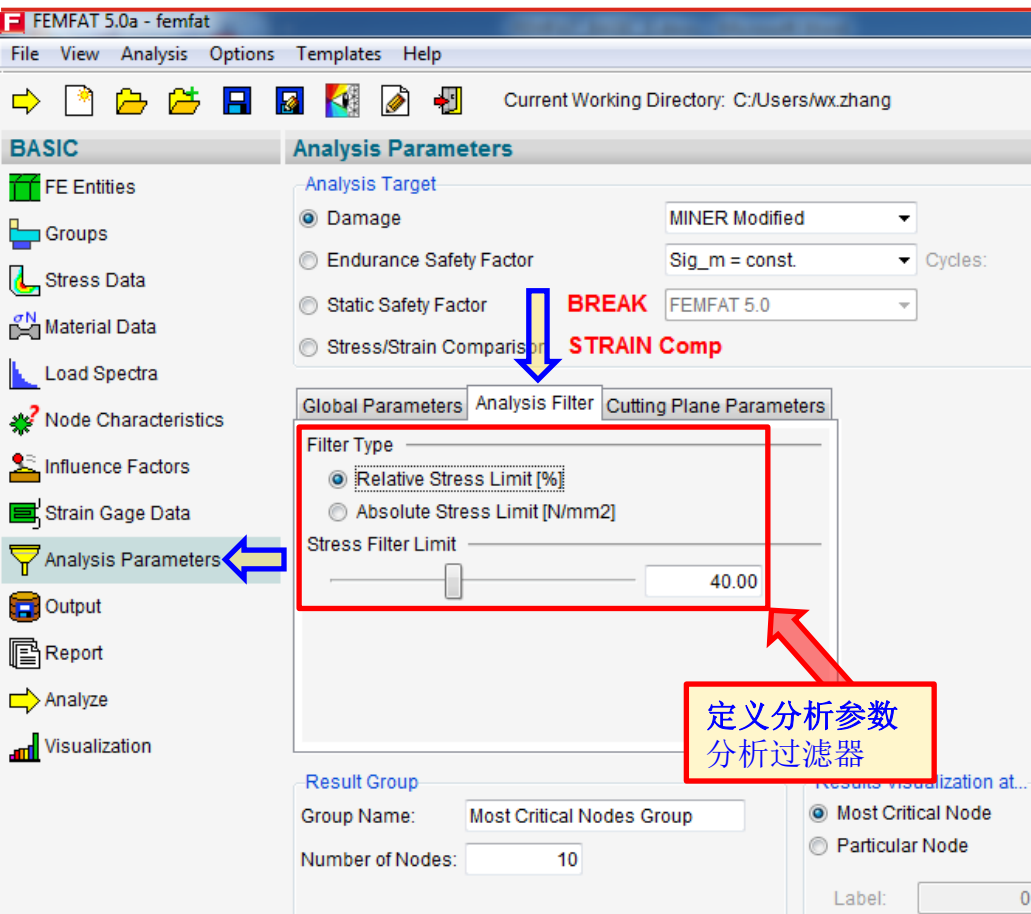
$$\sigma_A^{filter} = \frac{\sigma_D^{WELD}}{\sigma_D} \cdot f^{filter} \quad \sigma_{M,min}^{filter} = R_{m,D}^{WELD} \cdot \frac{f^{filter}}{\sigma_D} \quad \sigma_{M,max}^{filter} = R_{m,Z}^{WELD} \cdot \frac{f^{filter}}{\sigma_D}$$

- σ_A^{filter} 应力幅值过滤极限
- $\sigma_{M,min}^{filter}$ 平均应力最小过滤极限
- $\sigma_{M,max}^{filter}$ 平均应力最大过滤极限
- f^{filter} 用户给定的过滤值 (用户界面)
- σ_D^{WELD} 焊缝缺口交变疲劳极限 (焊缝数据库)
- $R_{m,D}^{WELD}$ 焊缝海格图中的抗压强度
- $R_{m,Z}$ 焊缝海格图中的抗拉强度
- σ_D 基础母材的交变疲劳极限

为评判某个节点是否能够被过滤掉, 将保守的评估每个焊缝单元的最大缺口应力。首先, 计算壳单元上下端面的最大缺口应力。对此将首先确定板壳单位正面和反面的最大缺口系数。然后计算出板壳单位正面和反面的 von Mises 等价缺口应力, 这些应力是来自于3个单元应力分量 (垂直及平行于焊缝方向的法向应力, 以及剪切应力)。并考虑最大缺口系数、通常的应力幅值系数和最大载荷谱系数。对于平均应力的评估过程也是类似的。除 von Mises 应力之外, 同时确定了最大主应力。主应力绝对值为最大的主应力将给出 von Mises 平均应力的正负号。然后基于 von Mises 等效应力进行过滤。

所有焊缝单元的节点都将进行过滤, 只要某个单元的 von Mises 应力高于所设置的过滤极限, 则此单元的所有节点都将被分析。

下页继续这个主题



分析过滤器的设置 - 焊点的节点

对于焊点节点的过滤极限定义如下:

- 相对应力极限 (f^{filter} 单位 [%])

$$\sigma_A^{filter} = \sigma_D^{SPOT} \cdot f^{filter} \quad \sigma_{M,min}^{filter} = R_{m,D}^{SPOT} \cdot f^{filter} \quad \sigma_{M,max}^{filter} = R_m^{SPOT} \cdot f^{filter}$$

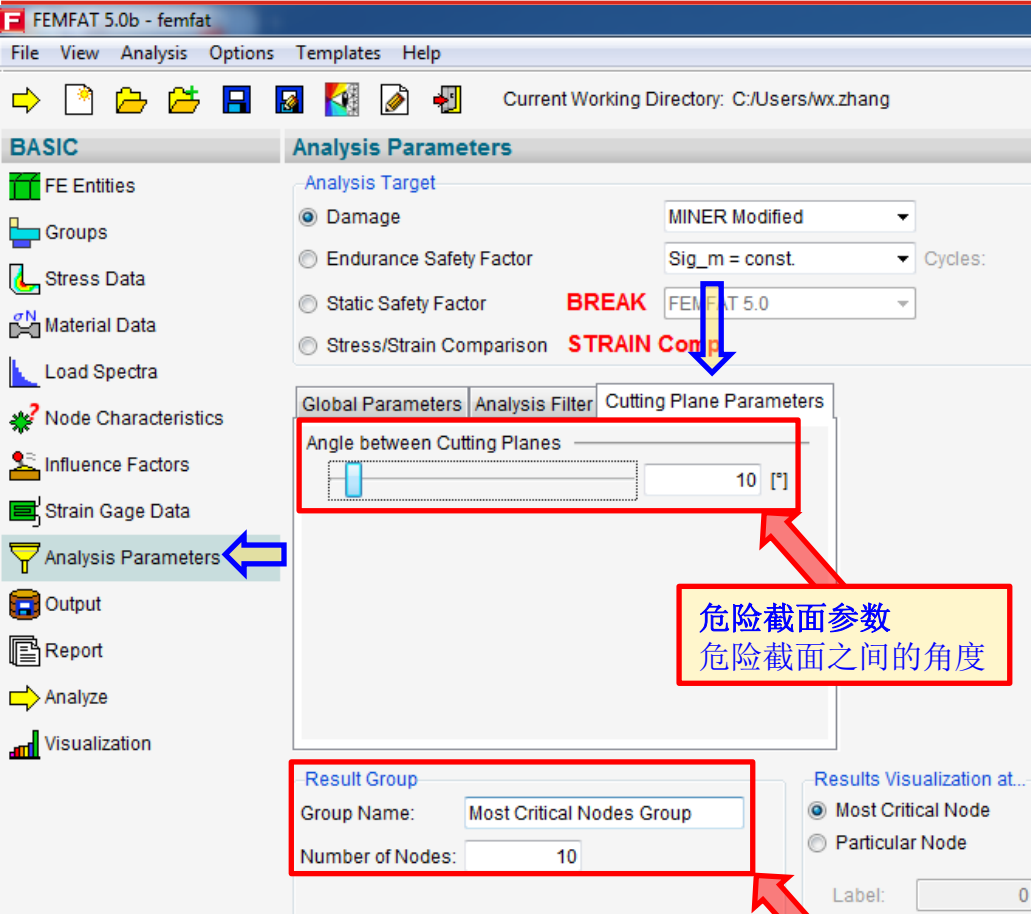
- 绝对应力极限 (f^{filter} 单位 [N/mm²])

$$\sigma_A^{filter} = \frac{\sigma_D^{SPOT}}{\sigma_D^{Gwk}} \cdot f^{filter} \quad \sigma_{M,min}^{filter} = \frac{R_{m,D}^{SPOT}}{\sigma_D^{SPOT}} \cdot \sigma_A^{filter} \quad \sigma_{M,max}^{filter} = \frac{R_m^{SPOT}}{\sigma_D^{SPOT}} \cdot \sigma_A^{filter}$$

- σ_A^{filter} ... 幅值过滤值
- σ_D^{SPOT} ... 焊点疲劳极限
- $\sigma_{M,min}^{filter}$... 平均应力过滤值 (压缩)
- $\sigma_{M,max}^{filter}$... 平均应力过滤值 (拉伸)
- $R_{m,D}^{SPOT}$... 焊点压缩强度极限
- R_m^{SPOT} ... 焊点拉伸强度极限
- σ_D^{Gwk} ... 基础母材疲劳极限

对基于应力的焊点评估方法, 每个焊核的节点都将进行过滤处理。如果某个节点未被过滤, 则整个焊核都将被分析。对基于力的焊点评估方法, 每个评估点都将进行过滤处理。如果某个评估点未被过滤, 则整个焊点都将被分析。

在BASIC模块中, 载荷谱的最大应力幅值将被用于幅值的过滤, 载荷谱的最大平均拉伸或压缩应力将被用于平均应力的过滤。



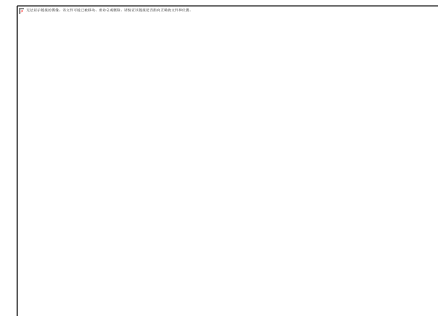
危险截面参数
危险截面之间的角度

结果组参数
设置最大损伤节点数

危险截面参数 - 危险截面之间的角度

FEMFAT默认的危险截面之间的角度为10°。

采用一定数量的危险截面来计算各种动态载荷之间的相互关系。在BASIC模块中将分析所有节点的3维应力。

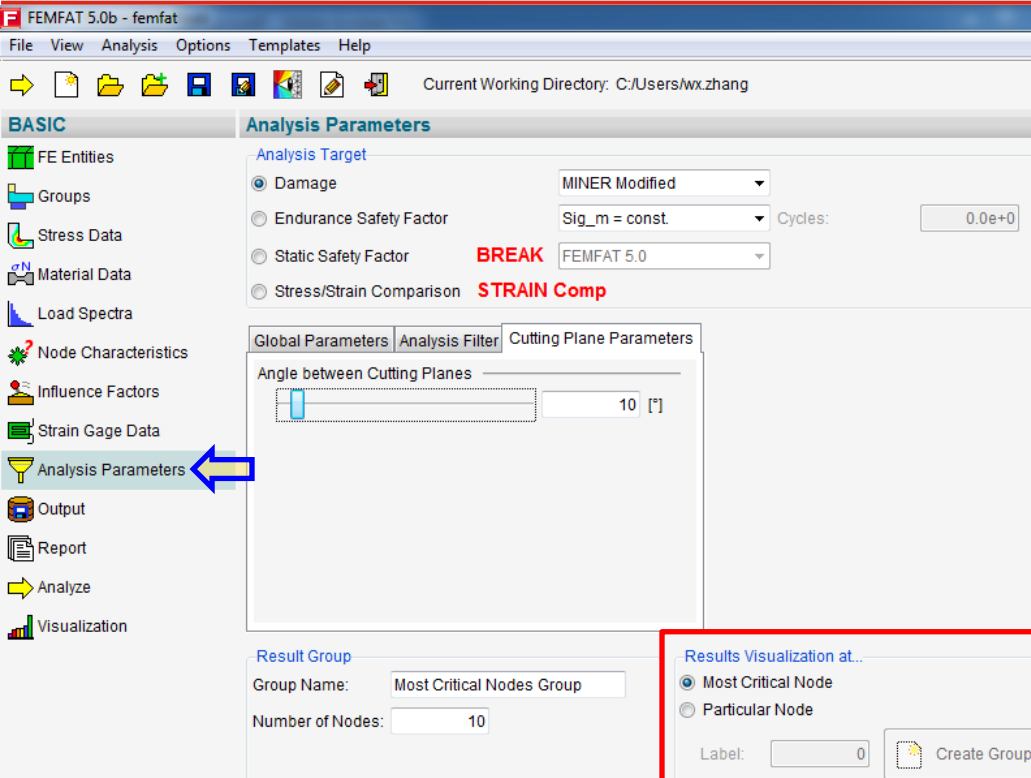


危险截面角度	预期的结果精度	预期的计算时间
↓ 少	↑ 好	↑ 长
↑ 多	↓ 不好	↓ 短

结果组参数 - 设置最大损伤节点数

此输入框可以选择受到最大损伤的节点并保存为一个组。对于当前组，可以在输入框内输入希望选择的受到最大损伤的节点数，上限为1000个节点。如果所输入的节点数大于当前组的节点数，则自动缩减到当前组的节点数。另外也可以给这个组进行命名。

如果此组的节点数大于0，则在FEMFAT分析过程中创建一个新的组，当分析结束之后将出现在“Groups”菜单内。



结果可视化参数 - 设置节点可视化的位置

对于最大应力的节点或者任何用户自定义的节点的详细数据都可以进行单独保存。

- 如果选择了“最危险节点”，则节点“Label”输入框和  按钮处于不激活状态。
- 如果需要输出任意节点的数据，则点击“特殊节点”按钮，则节点“Nabel”输入框和  按钮将被激活。

用户有两个选项：

结果可视化参数
设置节点可视化的位置

