



Fatigue-Life 疲劳寿命分析

1. 概述

疲劳失效是工程应用中重要的失效形式之一，对人员安全、装备运行构成很大威胁，给经济社会造成巨大损失。本代码基于有限元分析结果进行后处理，计算材料、结构的疲劳寿命。

2. 疲劳寿命准则

当前软件包含最大主应力、mises 应力、Sines、Crossland、Matake 等 5 中疲劳寿命计算准则。通过这些准则可以计算多轴应力状态下的等效应力幅 σ_{ea} ，利用等效应力幅和 Basquin 公式对寿命进行计算。

2.1 最大主应力准则

根据材料点的最大主应力 σ_{p1} 计算应力幅 σ_a 和平均应力 σ_m

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{p1,max} - \sigma_{p1,min}}{2} \quad (1)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{p1,max} + \sigma_{p1,min}}{2} \quad (2)$$

其中 $\sigma_{p1,max}$ 是疲劳加载周期中最大主应力达到的最大值， $\sigma_{p1,min}$ 是疲劳加载周期中最大主应力达到的最小值。

通过平均应力修正来换算应力比 $R = -1$ 条件下的等效应变幅，当前软件采用 Goodman 公式进行平均应力修正：

$$\sigma_{ea} = \frac{\sigma_a}{1 - \sigma_m / \sigma_u} \quad (3)$$

其中 σ_u 为材料的抗拉强度。

2.2 mises 应力准则

根据材料点的 mises 应力 σ_{mises} 计算应力幅 σ_a 和平均应力 σ_m

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{mises,max} - \sigma_{mises,min}}{2} \quad (4)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{mises,max} + \sigma_{mises,min}}{2} \quad (5)$$

其中 $\sigma_{mises,max}$ 是疲劳加载周期中最大主应力达到的最大值， $\sigma_{mises,min}$ 是疲劳加载周期中最大主应力达到的最小值。

通过平均应力修正来换算应力比 $R = -1$ 条件下的等效应变幅（公式(1)）。



2.3 Sines 准则

根据材料点的 mises 应力 σ_{mises} 计算应力幅 σ_a

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\text{mises,max}} - \sigma_{\text{mises,min}}}{2} \quad (6)$$

Sines 基于实验发现静水压力对疲劳寿命也有影响，因此 Sines 准则中平均应力与静水压力相关

$$\sigma_h = \frac{\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}}{3} \quad (7)$$

$$\sigma_m = 3\sigma_h = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz} \quad (8)$$

通过平均应力修正来换算应力比 $R = -1$ 条件下的等效应变幅（公式(1)）。

2.4 Crossland 准则

Crossland 准则的计算公式如下：

$$\sigma_{ea} = \frac{\sigma_{\text{mises,a}} + \alpha(\sigma_{h,a} + \sigma_{h,m})}{1 + \alpha/3} \quad (9)$$

其中系数 α 计算如下：

$$\alpha = \sqrt{27} \frac{\tau_w}{\sigma_w} - 3 \quad (10)$$

其中 τ_w 是应力比 $R = -1$ 条件下扭转疲劳极限， σ_w 是应力比 $R = -1$ 条件下轴向拉压疲劳极限。

2.5 Matakake 准则

Crossland 准则的计算公式如下：

$$\sigma_{ea} = \alpha \tau_{a,\max} + (2 - \alpha) \sigma_{n,\max} \quad (11)$$

其中系数 α 计算如下：

$$\alpha = \frac{\tau_w}{\sigma_w} \quad (12)$$

2.6 寿命计算

通过等效应力幅 σ_{ea} ，可以根据 Basquin 公式计算寿命：

$$N_f = \left(\frac{\sigma_{ea}}{\sigma_f} \right)^{1/b} \quad (13)$$

3. 使用说明

疲劳寿命计算代码 FatigueLife.py 通过 python 语言编写，搭配 ABAQUS 有限元软件使用，需要在 ABAQUS 环境下运行代码。

3.1 ABAQUS 有限元分析

通过 ABAQUS 完成静力有限元分析，得到有限元结果文件 (.odb)，结果文件中的场变量输出需要包含应力 S，图 1 以沿 y 方向拉伸的孔板为例。

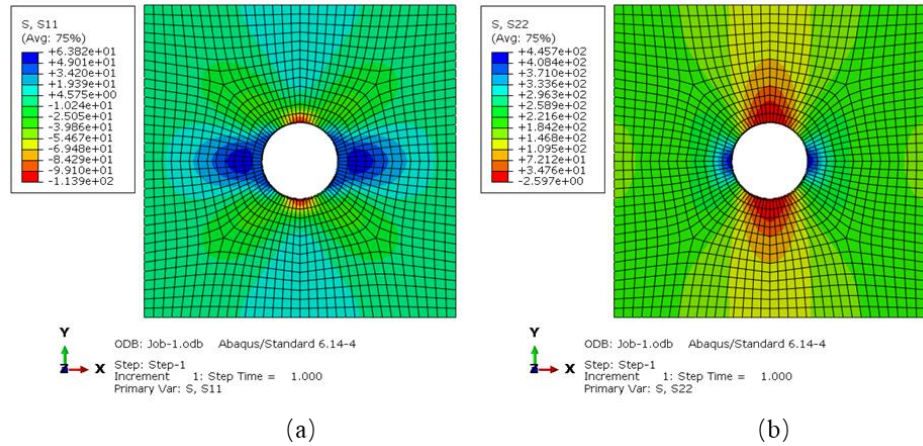


图 1 有限元分析结果。沿 y 方向拉伸的孔板 (a) 在拉伸方向和 (b) 垂直拉伸方向的应力分布。

3.2 参数设置

通过文件编辑器或 python 开发环境中打开 FatigueLife.py 文件，在文件最后的参数设置区域设置计算参数。参数设置区域通过以下标志标明：

```
##### INPUT #####
...
...
...
##### INPUT END #####
```

需要设置的参数包括 3 类：

(1) 路径类：

表 1 路径类参数。

参数名	数据类型	含义
odb_path	字符串	ABAQUS 结果文件路径
output_path	字符串	疲劳寿命分析结果输出路径
step_name	字符串	分析步名称
frame_num	整型	分析帧号



样例:

```
1 odb_path      = 'D:/Job-1.odb'
2 output_path   = 'D:/life.txt'
3 step_name     = 'Step-1'
4 frame_num     = 1
```

关于分析步和分析帧的概念详见 ABAQUS 手册。每个分析可以包含多个分析步，每个分析步可以包含多个分析帧，因此需要指定分析步和分析帧才能从结果文件中读取相关场变量数据。

(2) 疲劳寿命准则:

表 2 疲劳寿命准则。

参数名	数据类型	含义
f_multiaxial	字符串	疲劳寿命准则，可选： 最大主应力准则，“Max. Principal” mises 应力准则，“Mises” Sines 准则，“Sines” Crossland 准则，“Crossland” Matake 准则，“Matake”

样例:

```
1 f_multiaxial  = 'Mises'
```

(3) 材料属性:

表 3 疲劳寿命准则。

参数名	数据类型	含义
sigma_f	浮点数	Basquin 公式的因子 σ_f' ，单位为 MPa
b_power	浮点数	Basquin 公式的指数 b
sigma_u	浮点数	材料的抗拉强度 σ_u ，单位为 MPa。应用最大主应力准则、Mises 应力准则和 Sines 准则时需要设置，应用其他准则时可填 0。
sigma_w	浮点数	材料在应力比 $R = -1$ 条件下轴向拉压疲劳极限 σ_w ，单位为 MPa。Crossland 准则和 Matake 准则需要设置，应用其他准则可填 0。
tau_w	浮点数	材料在应力比 $R = -1$ 条件下扭转疲劳极限 τ_w ，单位为 MPa。

样例:

```
1 sigma_f      = 15877.8
```



```
2 b_power = -0.2572
3 sigma_u = 1400
4 sigma_w = 511.86
5 tau_w   = 222.84
```

(4) 载荷条件:

当前代码认为有限元输入的结果为疲劳加载过程中的最大载荷, 可以通过载荷缩放因子来调控最大载荷的大小, 通过应力比来调控最小应力、应力幅和平均应力。

表 4 载荷条件。

参数名	数据类型	含义
scale	浮点数	载荷缩放因子
R	浮点数	疲劳加载的应力比

样例:

```
1 scale = 1
2 R     = 0.1
```

完整的输入参数样例如下:

```
1 ##### INPUT #####
2 ## 1. Path
3 odb_path      = 'D:/Job-1.odb'
4 output_path   = 'D:/life.txt'
5 step_name     = 'Step-1'
6 frame_num     = 1
7
8 ## 2. Fatigue criteria
9 f_multiaxial  = 'Sines'
10
11 ## 3. Material properties
12 sigma_f      = 15877.8
13 b_power      = -0.2572
14 sigma_u      = 1400
15 sigma_w      = 511.86
16 tau_w       = 222.84
17
18 ## 4. Load conditions
19 scale        = 1
20 R           = 0.1
21 ##### INPUT END #####
```

3.3 运行脚本及结果查看

在 ABAQUS 菜单栏中点击文件（file）选项，在文件展开菜单中选择 Run Script。在 Run Script 的弹出文件选择框中选择“FatigueLife.py”，点击右下方的“OK”按钮，即可运行疲劳寿命计算脚本，如图 2。

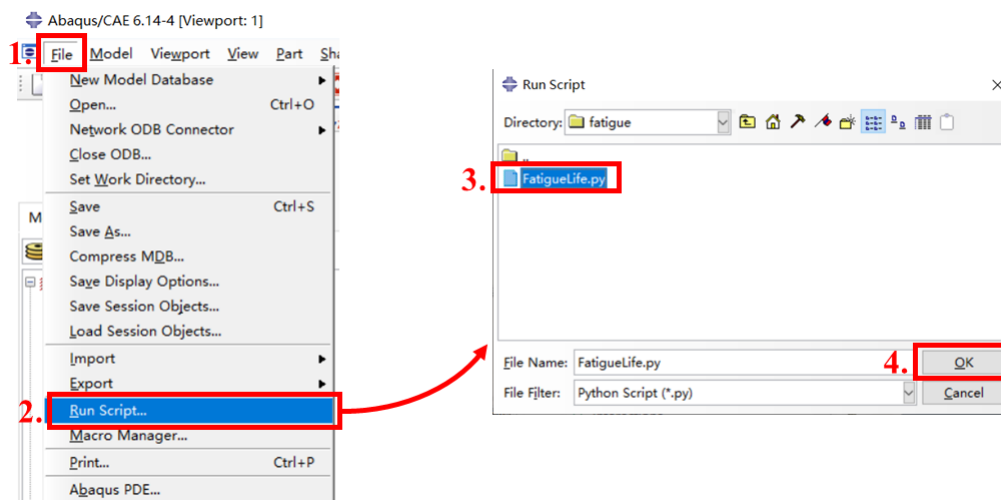


图 2 运行疲劳寿命计算脚本。

计算完成后，将根据设置的输出路径 output_path 输出计算结果文件，内容如下：

Multiaxial Criterion: Matake
Mean Stress Criterion: Goodman
elementLabel: 694
integrationPoint: 1
sigma_ea: 163.19 MPa
life: 53668348.32 cycles

表 5 结果文件内容。

参数名	含义
Multiaxial Criterion	疲劳寿命准则
Mean Stress Criterion	平均应力修正准则
elementLabel	寿命最短单元的编号
integrationPoint	寿命最短积分点在单元内的编号
sigma_ea	最短寿命对应的等效应力幅
life	最短寿命

同时，每个积分点处计算得到的寿命也写入到 ABAQUS 的 odb 结果文件中，以对数寿命的形式展现。打开 odb 文件，在场变量中选择 log_life，即可查看寿命云图（图 3）。

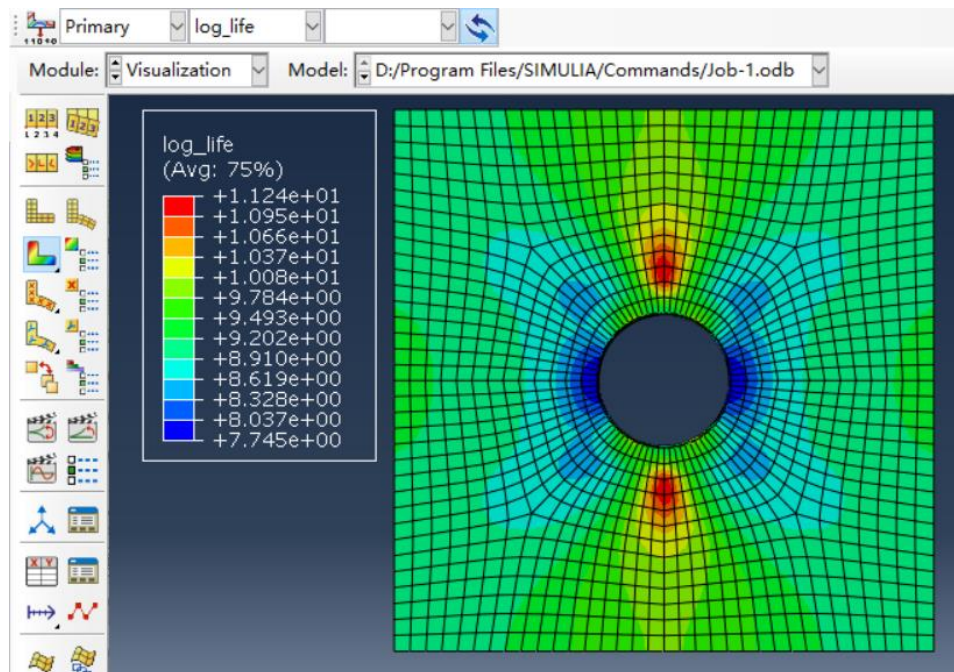


图 3 疲劳寿命云图。