



FatigueCrack 疲劳裂纹扩展寿命分析

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。本代码基于网格重划分技术，实现疲劳裂纹的自动扩展分析，通过有限元计算得到裂纹扩展过程中的应力强度因子幅值，结合材料疲劳裂纹扩展速率公式，计算疲劳裂纹扩展寿命。

2. 疲劳裂纹扩展

疲劳裂纹扩展速率采用 Paris 公式进行描述：

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n \quad (1)$$

其中 $\frac{da}{dN}$ 是裂纹扩展速率， ΔK 是应力强度因子幅值， C 和 n 为参数，通过实验数据拟合。

裂纹扩展方向采用最大切向应力准则确定：

$$\theta = \arccos \left(\frac{3K_I^2 + \sqrt{K_I^2 + 8K_I^2 K_{II}^2}}{K_I^2 + 9K_{II}^2} \right) \quad (2)$$

其中 K_I 和 K_{II} 分别是 I 型和 II 型应力强度因子。

在模拟过程中，裂纹扩展路径离散为多个直线段，计算每个直线段起点和终点的应力强度因子幅值 ΔK_1 和 ΔK_2 。假设在该直线段扩展的过程中， ΔK 线性变化，结合 Paris 公式，可以计算裂纹在该直线段上扩展的周次为

$$\Delta N = \frac{l}{C(1-n)(\Delta K_2 - \Delta K_1)} (\Delta K_2^{1-n} - \Delta K_1^{1-n}) \quad (3)$$

其中 l 为直线段的长度。

对所有直线段上的周次进行加和，可以得到疲劳裂纹扩展的寿命。

3. 使用说明

疲劳裂纹扩展寿命计算代码 `FatigueCrack.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。目前代码仅支持二维的裂纹扩展。

3.1 ABAQUS 有限元建模

通过 ABAQUS 完成不含裂纹的有限元建模（无需计算），包括几何模型的构建及分析步等设置，将模型文件保存为 `.cae` 格式（图 1）。

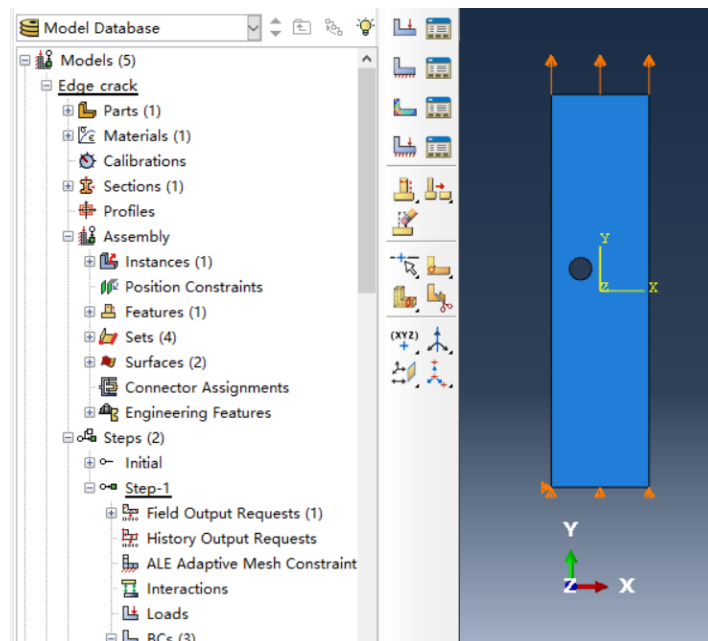


图 1 不含裂纹的有限元模型。

3.2 参数设置

通过文件编辑器或 python 开发环境中打开 FatigueCrack.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
path	字符串	计算工作路径，该路径下存在 ABAQUS 模型文件
mdbName	字符串	ABAQUS 模型文件
modelName	字符串	模型名称
instanceName	字符串	实例名称，在模型装配体中需要定义实例

样例：

```
1 path = 'D:/'
```



FatigueCrack

```

2 mdbName      = 'Crack.cae'
3 modelName     = 'Edge_crack'
4 instanceName  = 'Part-1-1'

```

(2) 初始裂纹:

表 2 初始裂纹参数。

参数名	数据类型	含义
crack	二维列表	按先后顺序记录了初始裂纹经过的点，每个点用包含两个浮点数的列表表示，分别是 x 和 y 方向的坐标。这些点的坐标共同形成表示裂纹的二维列表。
increment	浮点数	裂纹扩展步长，单位 mm。

样例:

```

1 crack      = [[-1,0], [-0.8,0]]
2 increment  = 0.1

```

(3) 材料属性:

表 3 材料属性。

参数名	数据类型	含义
KIc	浮点数	断裂韧性，单位为 MPa \sqrt{m}
Kth	浮点数	疲劳裂纹扩展门槛值，单位为 MPa \sqrt{m}
C	浮点数	Paris 公式中的因子
n	浮点数	Paris 公式中的指数

样例:

```

1 KIc = 15877.8
2 Kth = -0.2572
3 C   = 1e-11
4 n   = 3.2

```

(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，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
R	浮点数	疲劳加载的应力比



样例:

```
1 R = 0.1
```

完整的输入参数样例如下:

```
1 ##### INPUT #####
2 ## 1. Path
3 path='D: /'
4 mdbName='Crack.cae'
5 modelName='Edge_crack'
6 instanceName='Part-1-1'
7
8 ## 2. Crack
9 crack=[[-1,0],[-0.8,0]]
10 increment=0.1
11
12 ## 3. Material properties
13 KIc=14
14 Kth=5
15 C=1e-11
16 n=3.2
17
18 ## 4. Load
19 R=0.1
20 ##### 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 Set Work Directory, 将路径设置为包含 .cae 模型文件的工作路径。

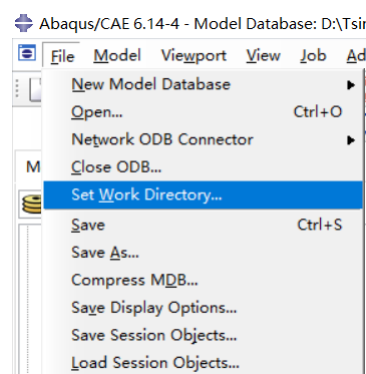


图 2 设置工作路径。



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 “FatigueCrack.py”, 点击右下方的 “OK” 按钮，即可运行疲劳裂纹扩展寿命计算脚本，如图 3。

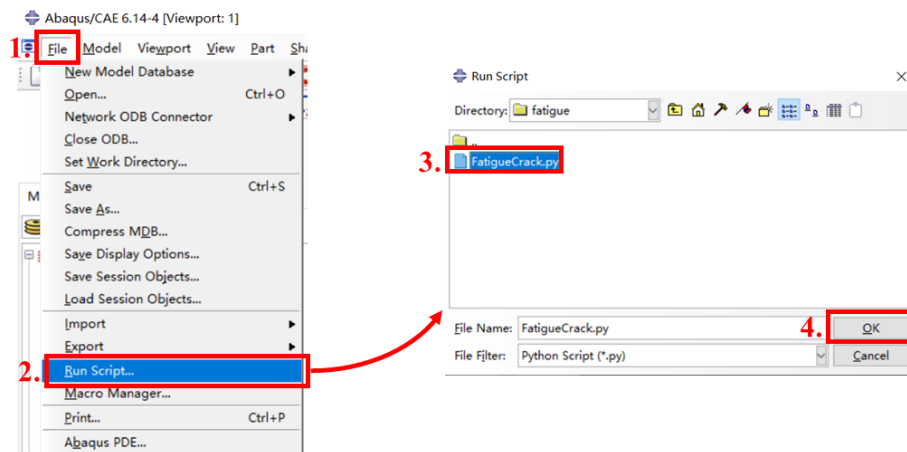


图 3 运行疲劳寿命计算脚本。

计算完成后，在计算工作路径下将产生结果文件 result.txt，内容如下：

Step-3

K1

320.5470275878906250

387.6366271972656250

430.6141357421875000

445.3049316406250000

Life = 13259.9101473179689492 cycles

其中 Step-n 表示再分析过程中裂纹扩展了 n 步，然后记录了每次扩展（包括初始裂纹）的应力强度因子 K1 的值，最后输出裂纹扩展寿命 Life。

在 ABAQUS 中打开 “模型名称_n.odb” 文件，可以看到每次裂纹扩展后的裂纹路径及场变量分布（图 4）。裂纹路径可在 crack.txt 文件中查看，每行的两个数字代表裂纹经过点的坐标。

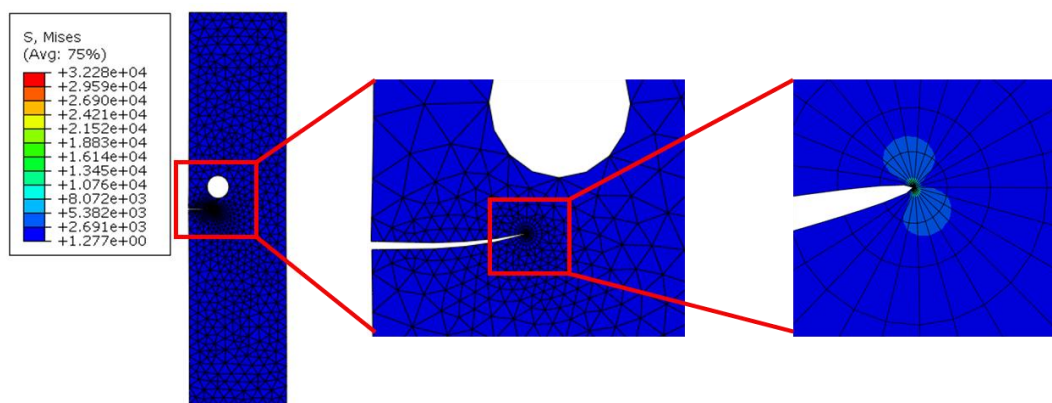


图 4 疲劳裂纹路径及应力云图。