

压力容器筒体裂纹扩展分析

李志杰

上海辉策信息科技有限公司

2016. 4. 16

CONSYS

Consulting System

WWW.CONSYSGROUP.COM.CN

- 概述
- 计算输入
- 周向表面裂纹疲劳扩展
- 轴向表面裂纹疲劳扩展
- 轴向贯穿裂纹蠕变扩展

➤ 概述

➤ 计算输入

➤ 周向表面裂纹疲劳扩展

➤ 轴向表面裂纹疲劳扩展

➤ 轴向贯穿裂纹蠕变扩展

➤ 分析对象

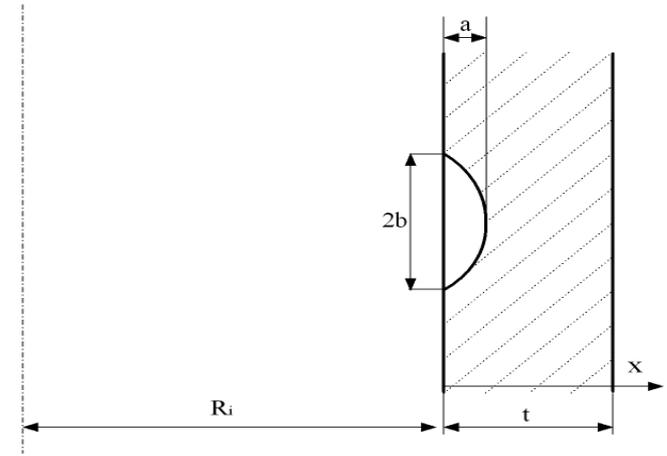
- 压力容器筒体纯I型内表面裂纹：轴向及周向裂纹
- 压力容器筒体轴向贯穿裂纹

➤ 分析问题

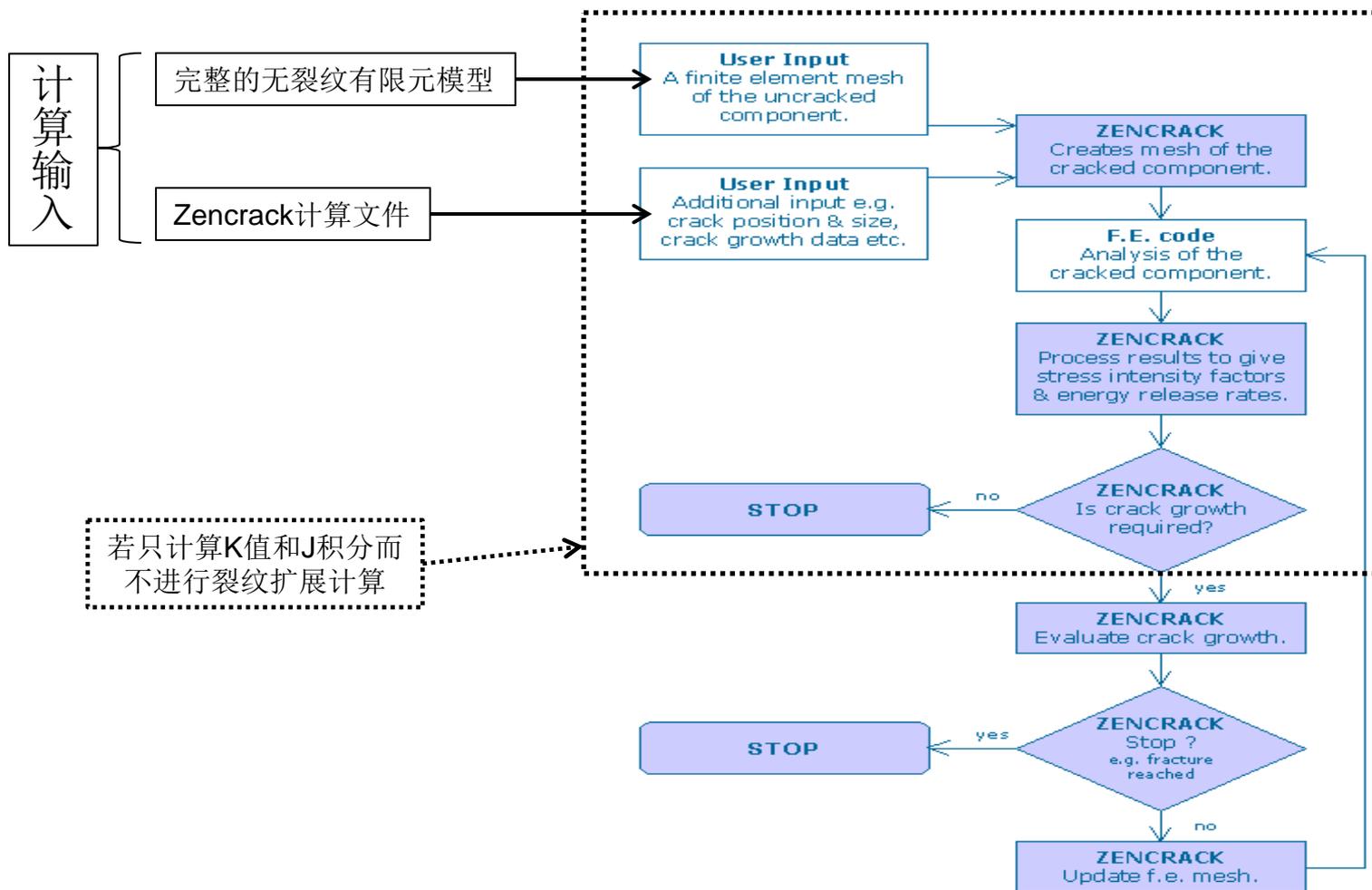
- 给定工况下的裂纹尖端的应力强度因子
- 给定工况下的裂纹尖端的J积分
- 给定载荷循环1000次裂纹的疲劳扩展情况
- 贯穿裂纹的蠕变扩展
- 泄漏率计算输入的提取

➤ 分析方法

- 基于Abaqus建立无裂纹有限元模型
- 基于Zencrack建立含裂纹有限元模型并计算断裂参数



内表面半椭圆形裂纹形状示意图



➤ 概述

➤ 计算输入

➤ 周向表面裂纹疲劳扩展

➤ 轴向表面裂纹疲劳扩展

➤ 轴向贯穿裂纹蠕变扩展

表面裂纹

筒体内径: $R_i=2075\text{mm}$

容器壁厚: $t=192.5\text{mm}$

裂纹深度: $a=0.1t=19.25\text{mm}$

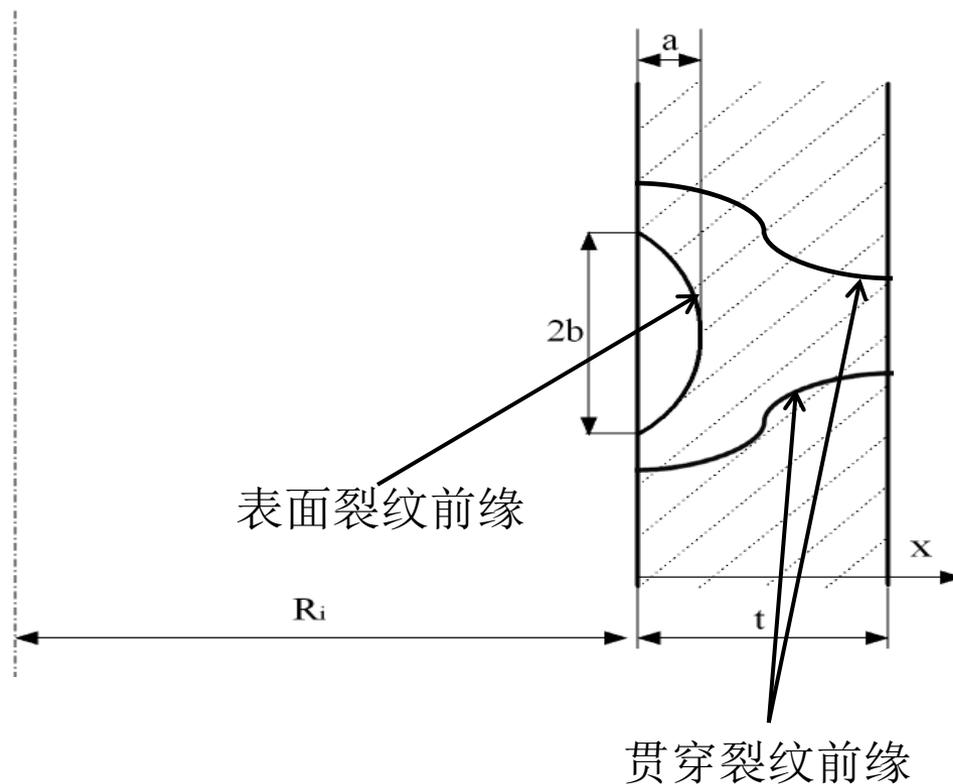
裂纹长度: $2b=0.6t=115.5$

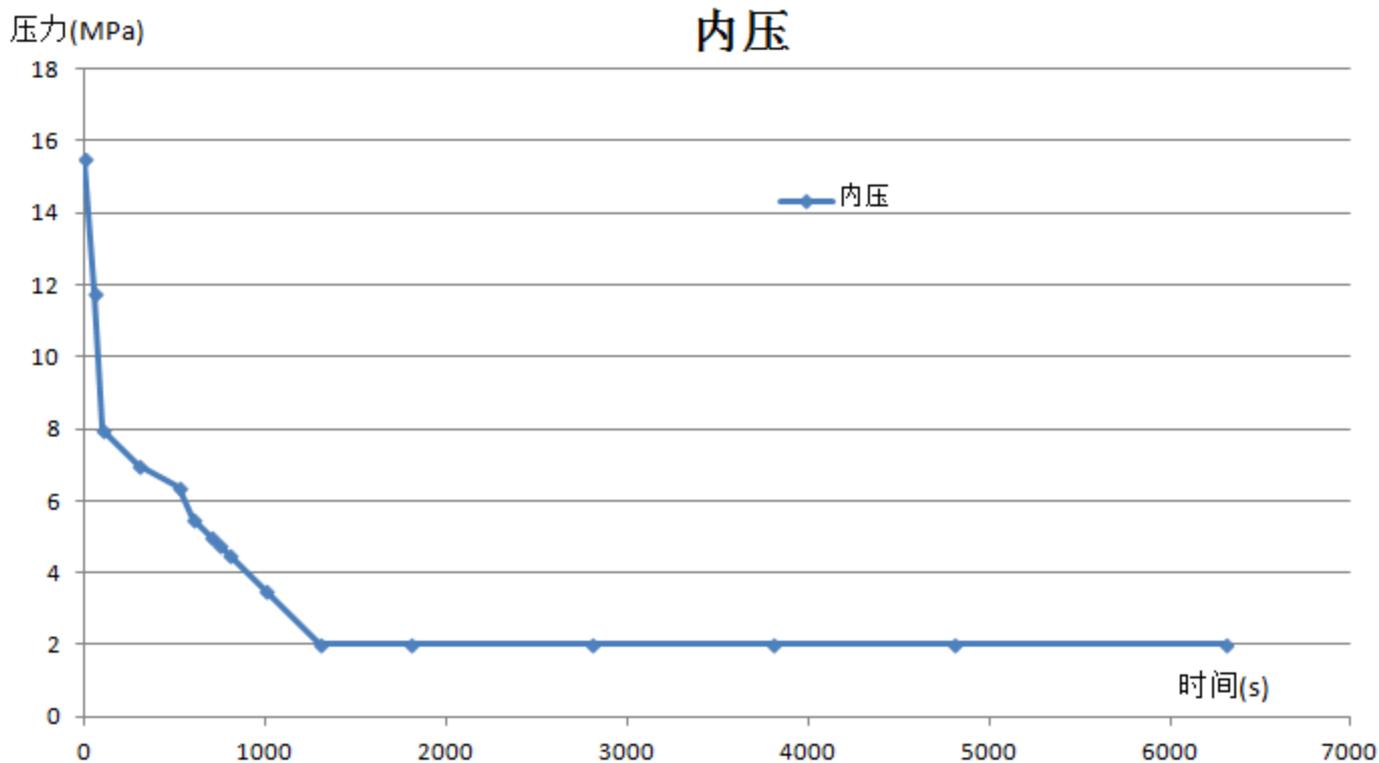
贯穿裂纹

筒体内径: $R_i=2075\text{mm}$

容器壁厚: $t=192.5\text{mm}$

裂 纹: 贯穿筒壁





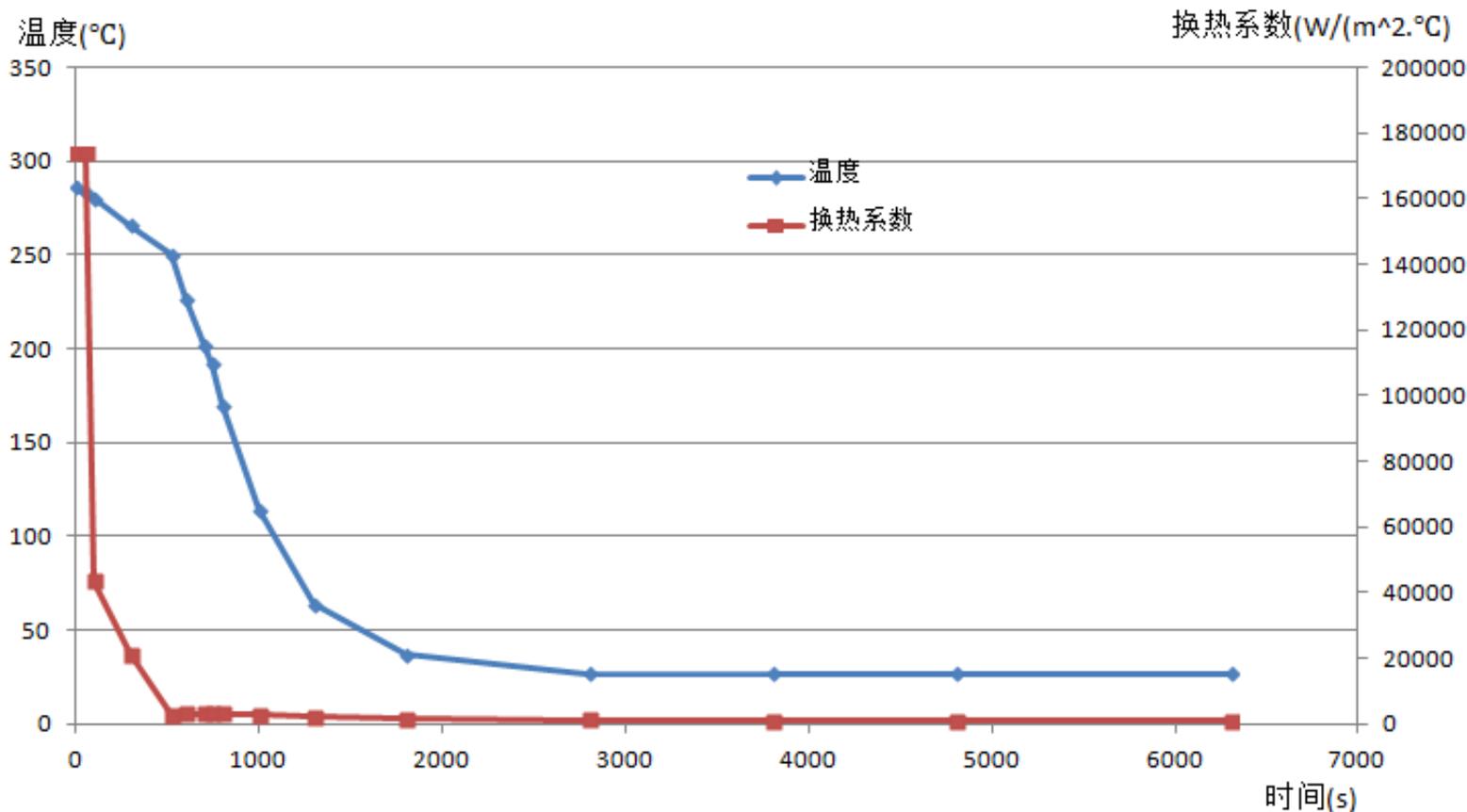
圆筒内压随时间变化如上图所示

筒体端面施加 $P \cdot R_i / (2t)$ 拉力，其中：

P --筒体内压

t --筒体壁厚

R_i --筒体内径



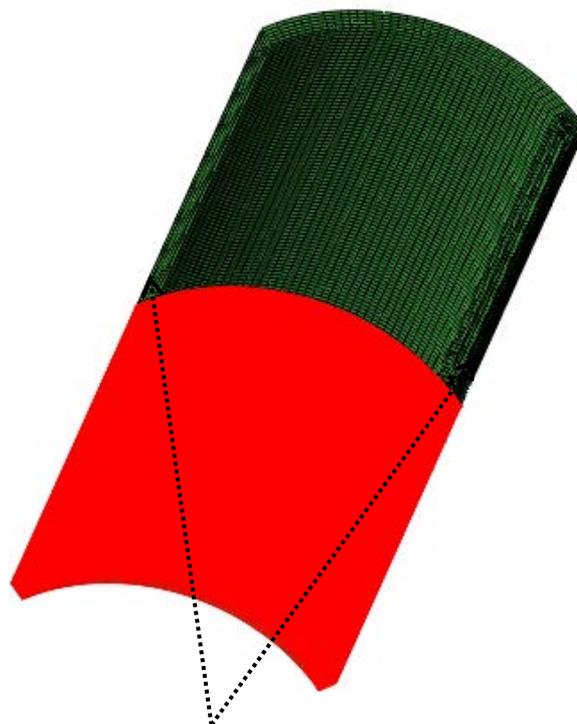
筒体内表面热载荷随时间变化如上图所示
筒体外表面绝热

机械载荷

内 压 15.5MPa
端 面 拉力 83.5MPa
裂纹面压力 15.5MPa

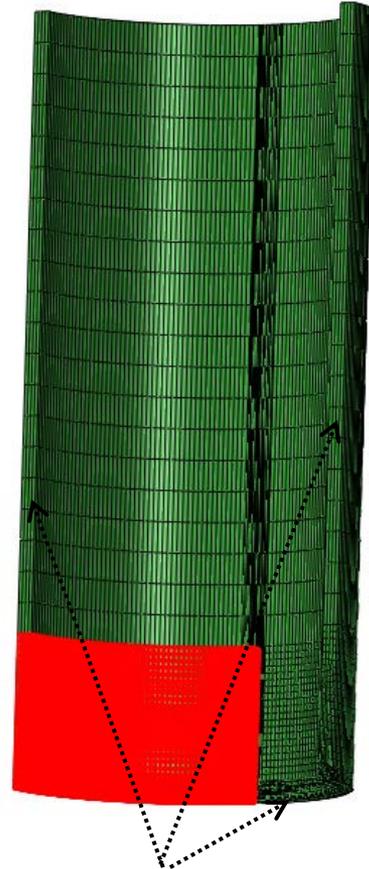
热载荷

内表面温度 500°C 换热系数 200000w/(m²*°C)
外表面温度 450°C 换热系数 80000w/(m²*°C)
裂纹面温度 500°C 换热系数 200000w/(m²*°C)

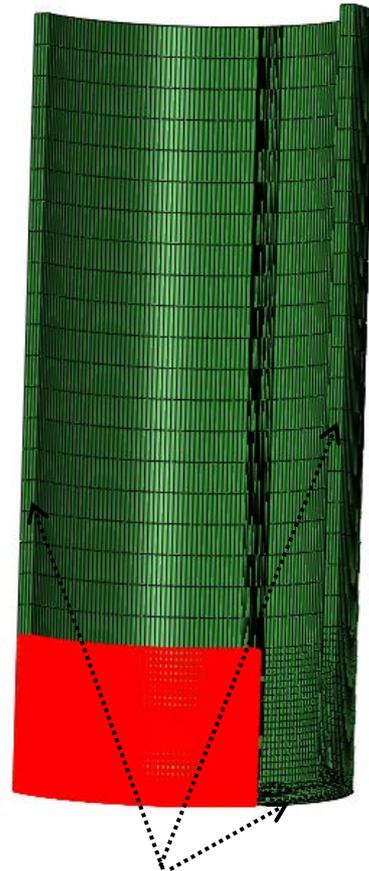


对称约束

底部端面节点固定轴向位移



对称约束



对称约束

温度T(°C)	弹性模量 E(GPa)	线膨胀系数 $\alpha(10^{-6}/^{\circ}\text{C})$	比热容 C(J/Kg.°C)	热传导系数 $\lambda(\text{W}/\text{m}.\text{°C})$
20	214	10.80	465	22.8
50	212	10.90	480	23.4
100	210	11.20	490	24.1
150	208	11.50	505	24.8
200	205	11.60	515	25.3
250	201	11.90	528	25.8
300	198	12.20	540	26.5
350	190	12.50	555	27.1

材料疲劳断裂力学属性采用Paris准则

$$da/dN=C(\Delta K)^n$$

$$C=1.216 \times 10^{-29}$$

$$n=3.1$$

单位: kg, m, s, °C

材料蠕变断裂力学属性采用Paris—Ct—time
准则

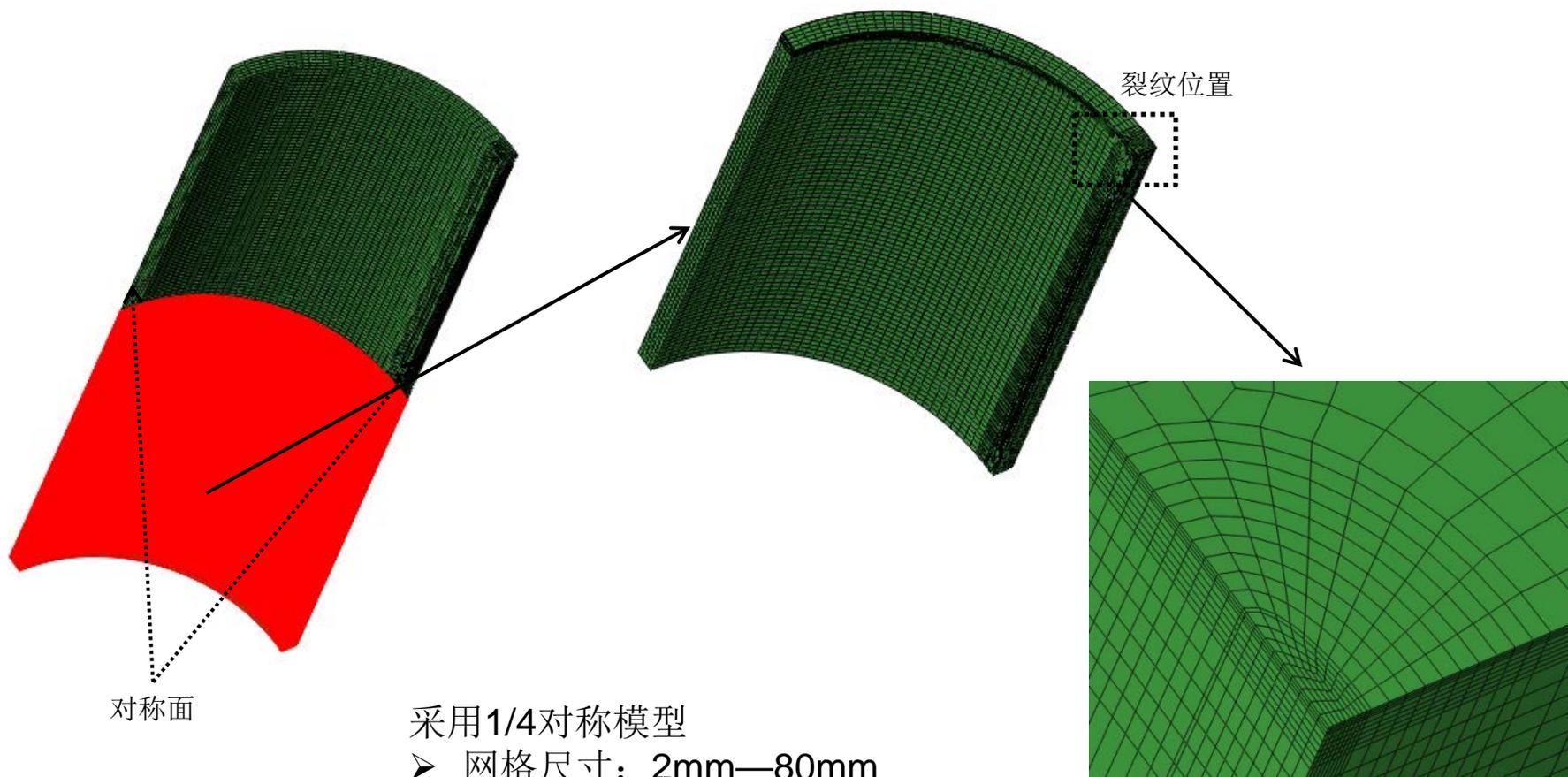
$$da/dt=C(Ct)^n$$

$$C= 0.000001$$

$$n=0.6355$$

单位: kg, m, s, °C

- ④ 概述
- ④ 计算输入
- ④ 周向表面裂纹疲劳扩展
- ④ 轴向表面裂纹疲劳扩展
- ④ 轴向贯穿裂纹蠕变扩展



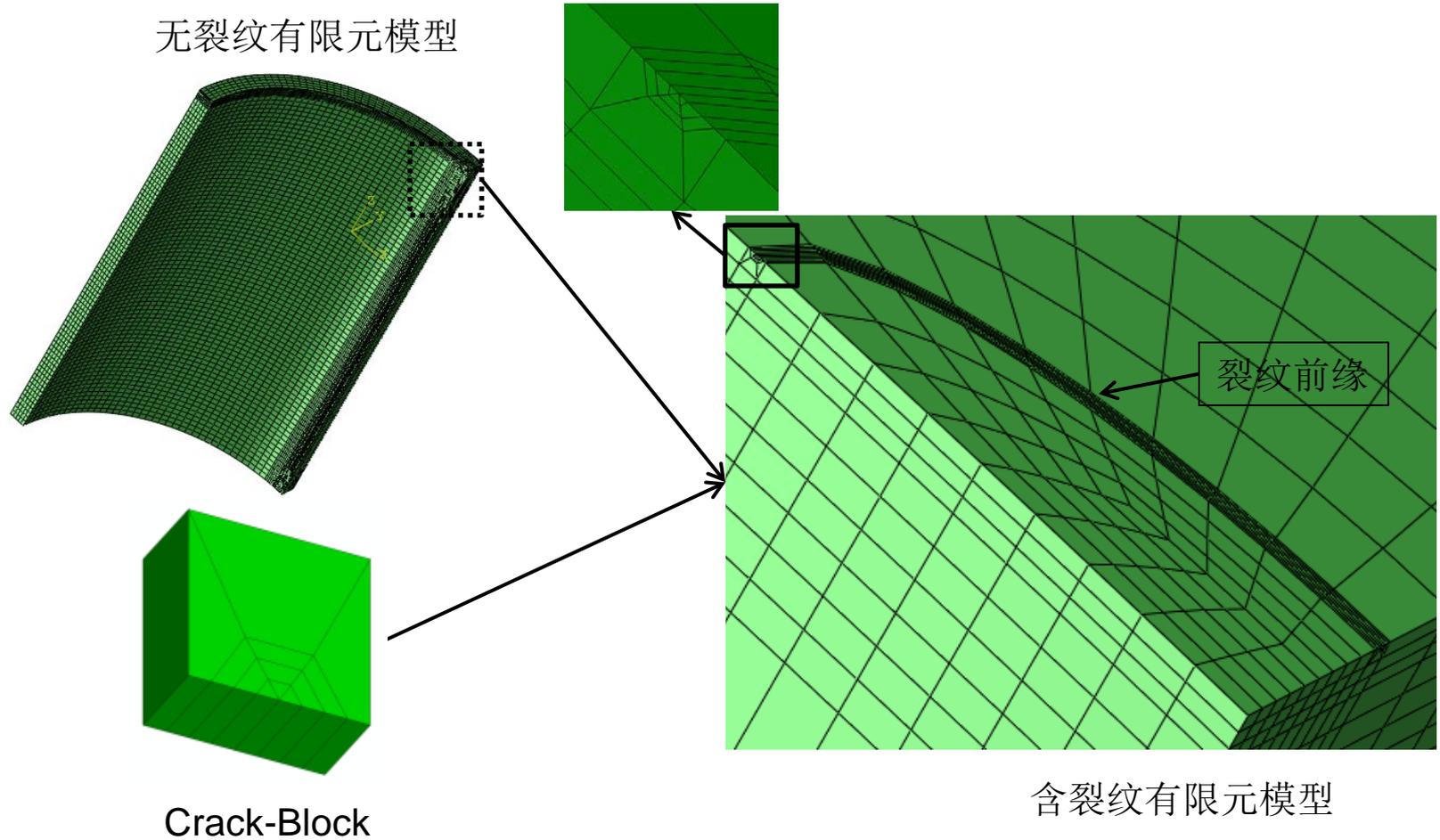
对称面

裂纹位置

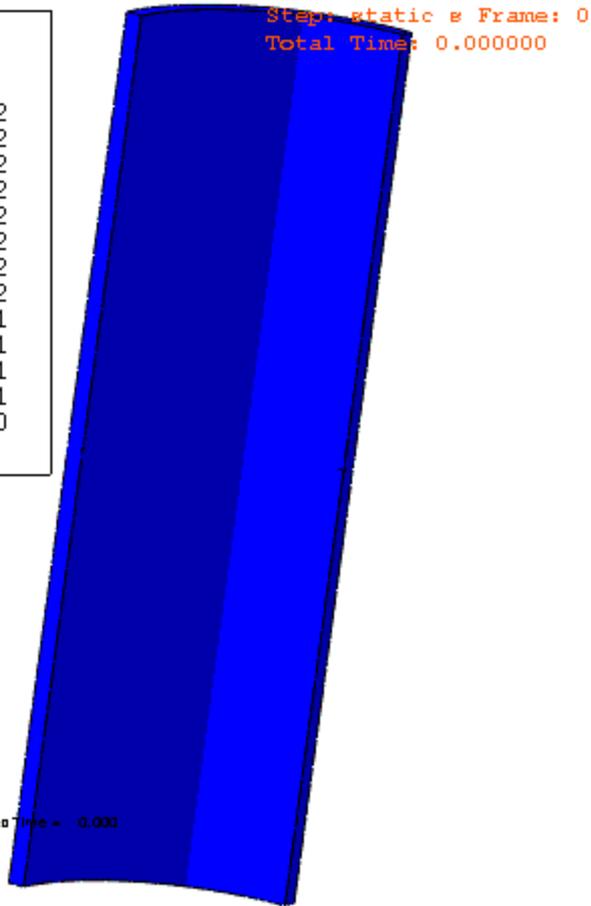
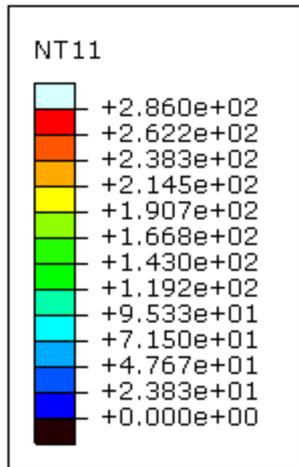
裂纹附近扇形网格

采用1/4对称模型

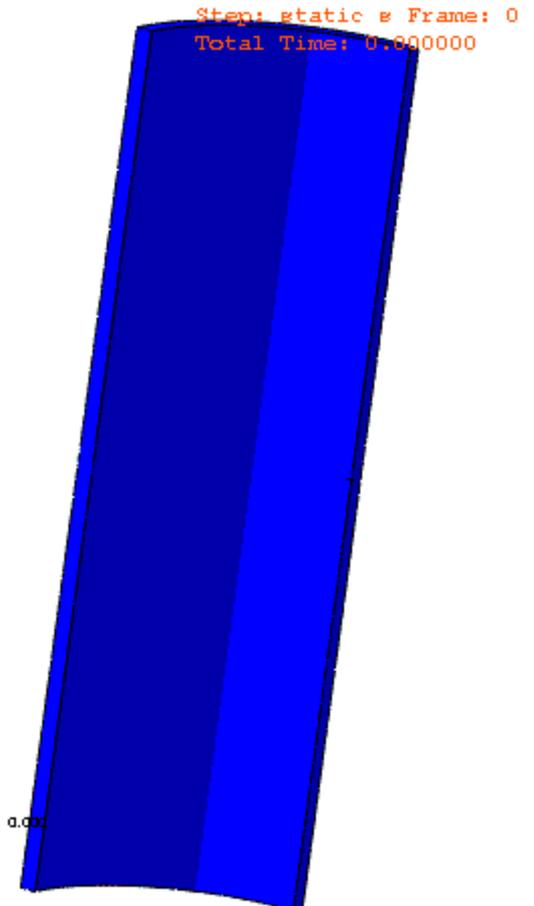
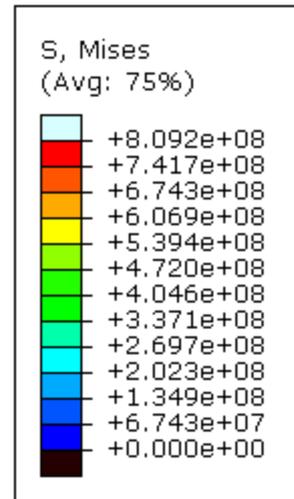
- 网格尺寸：2mm—80mm
- 单元类型：C3D8T
- 单元数量：80560
- 节点数量：94546



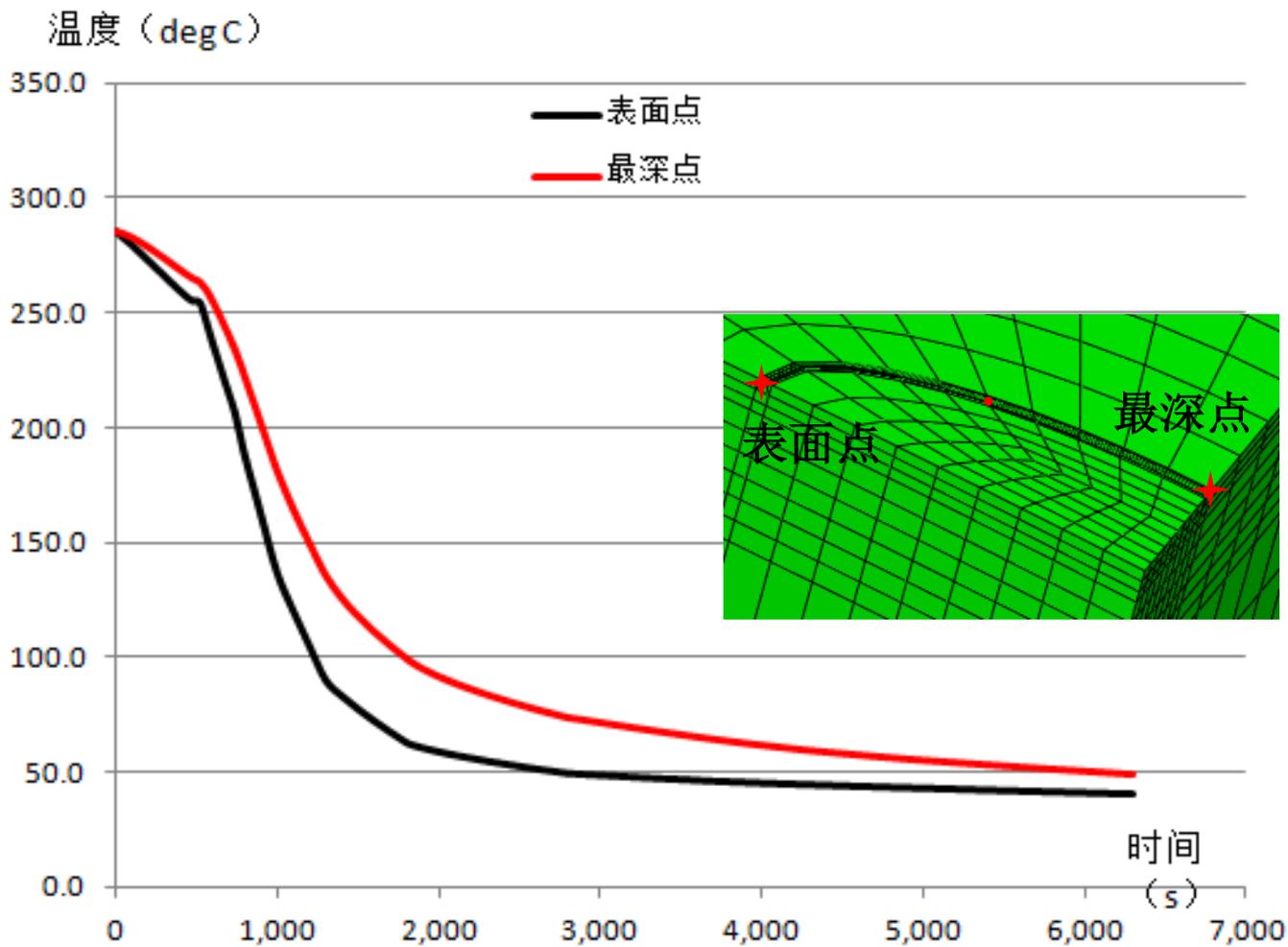
- 裂纹前缘网格由**Crack-Block**技术生成
- 裂纹扩展方向基于最大能量释放率准则
- 疲劳载荷取整个瞬态过程中裂纹前缘应力强度因子“Min-Max”的循环

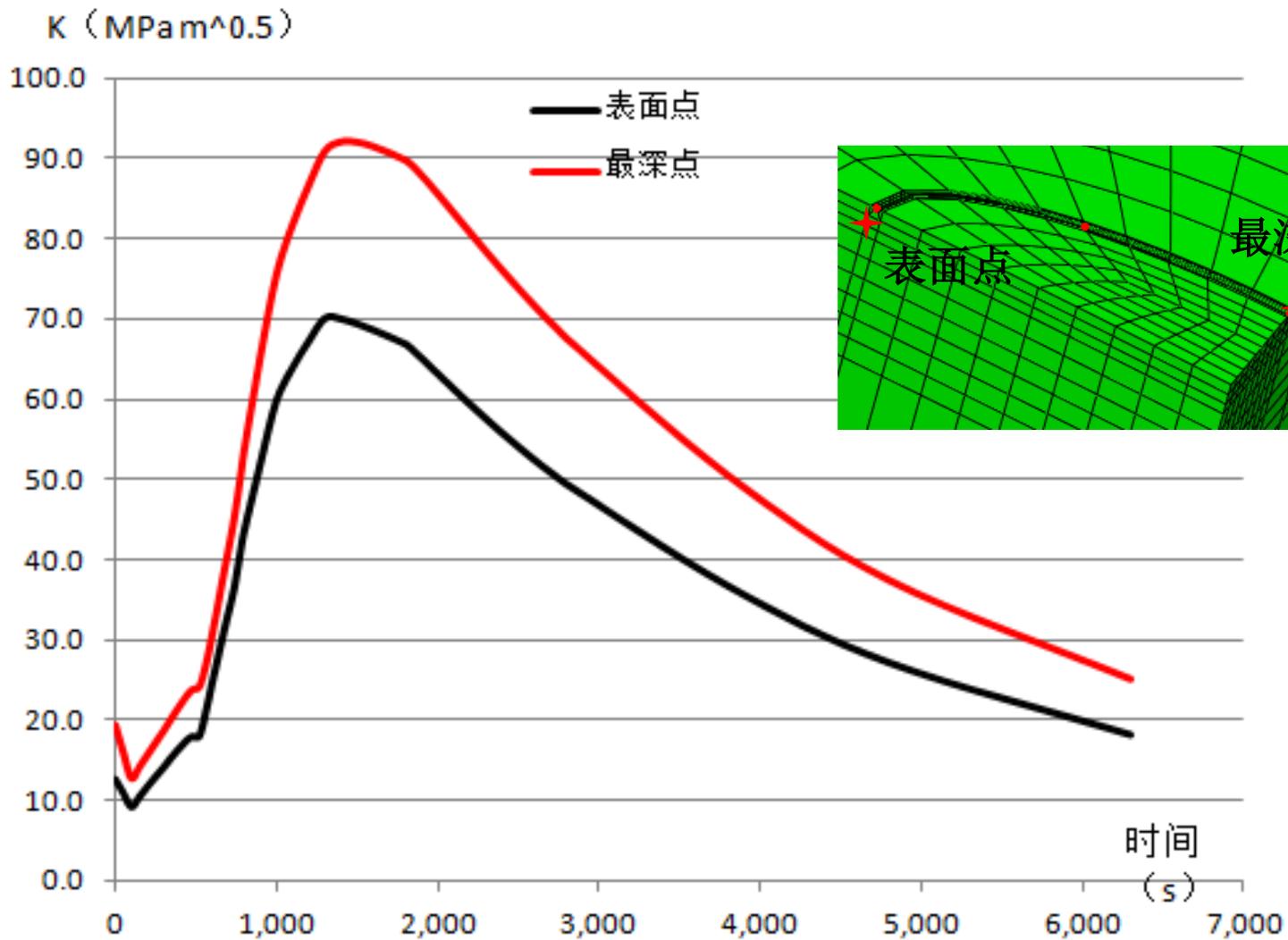


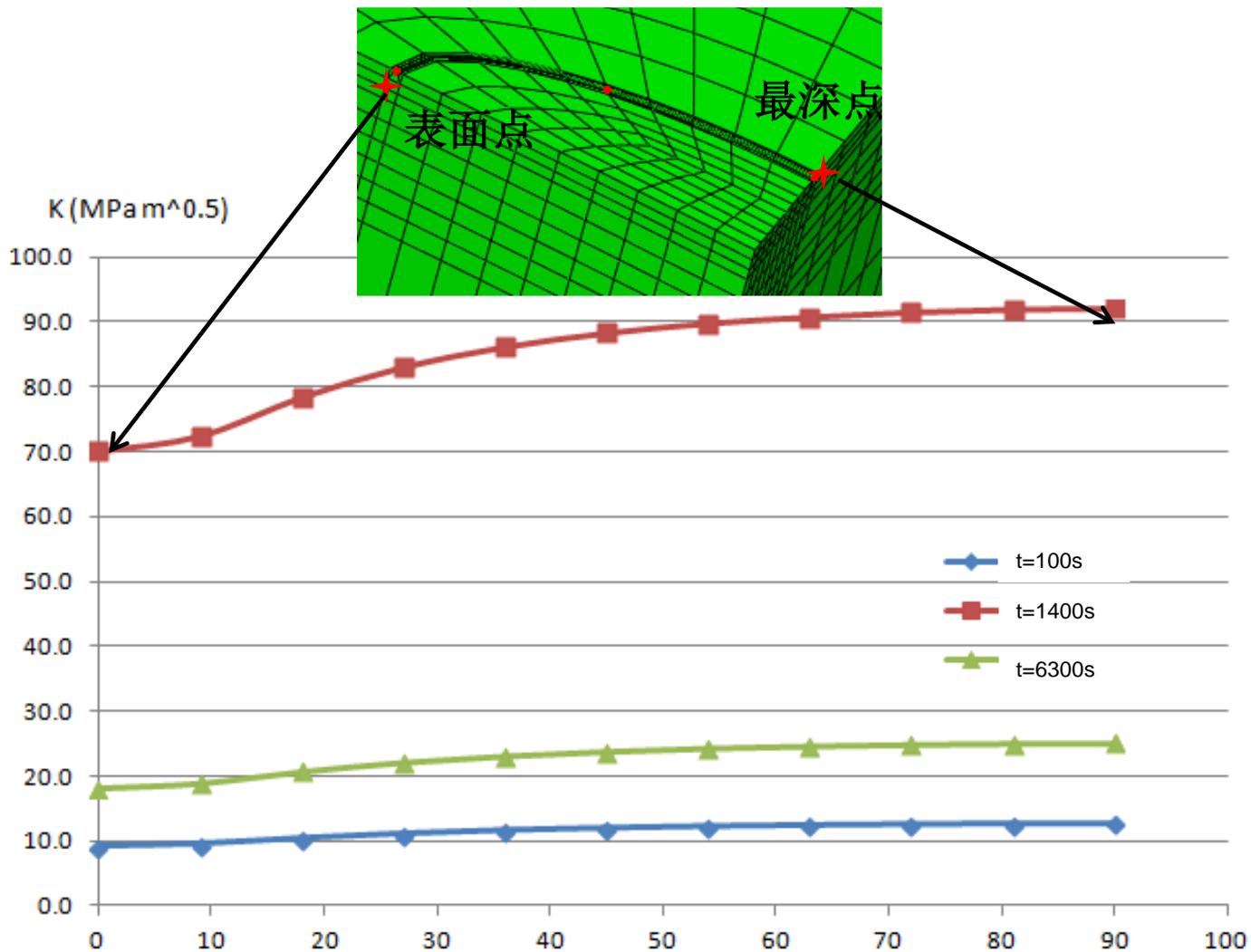
温度



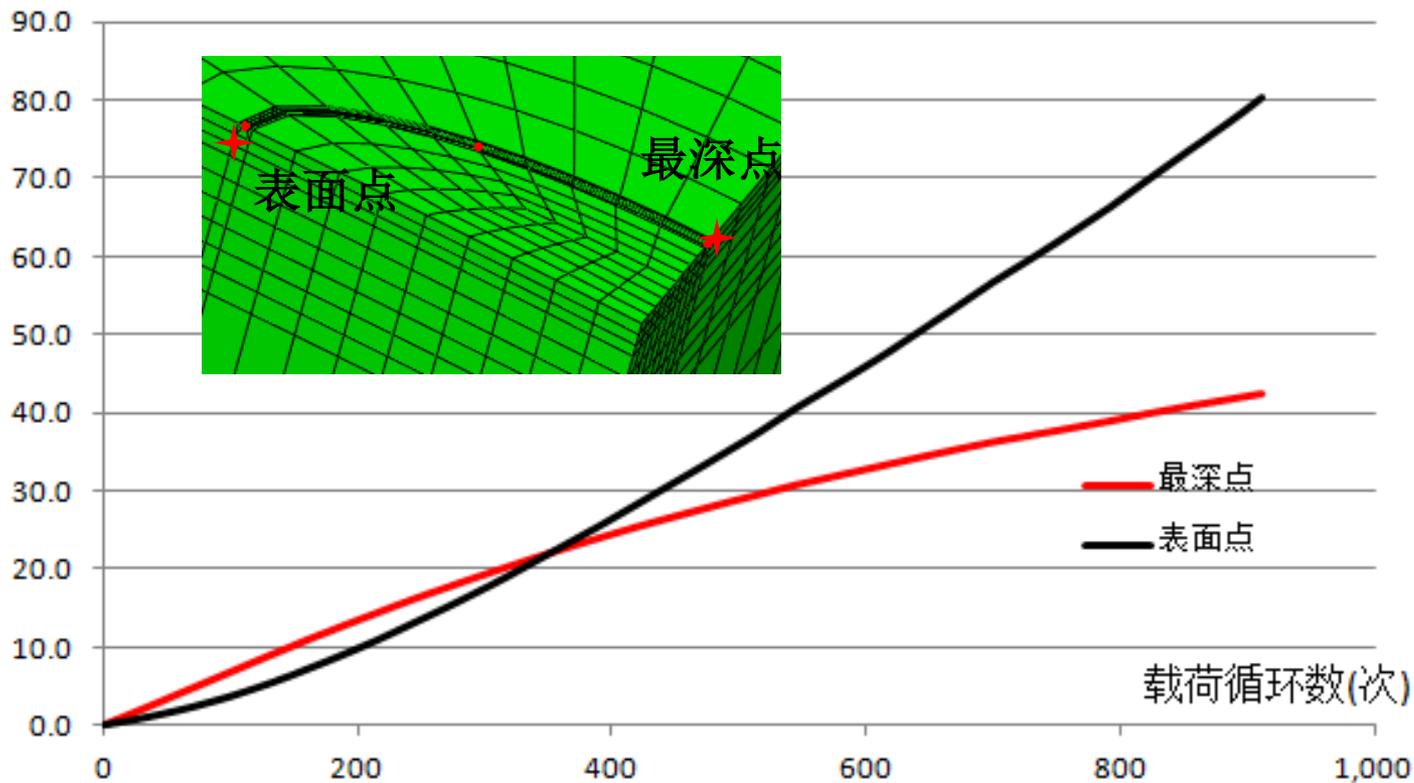
Von-Mises应力





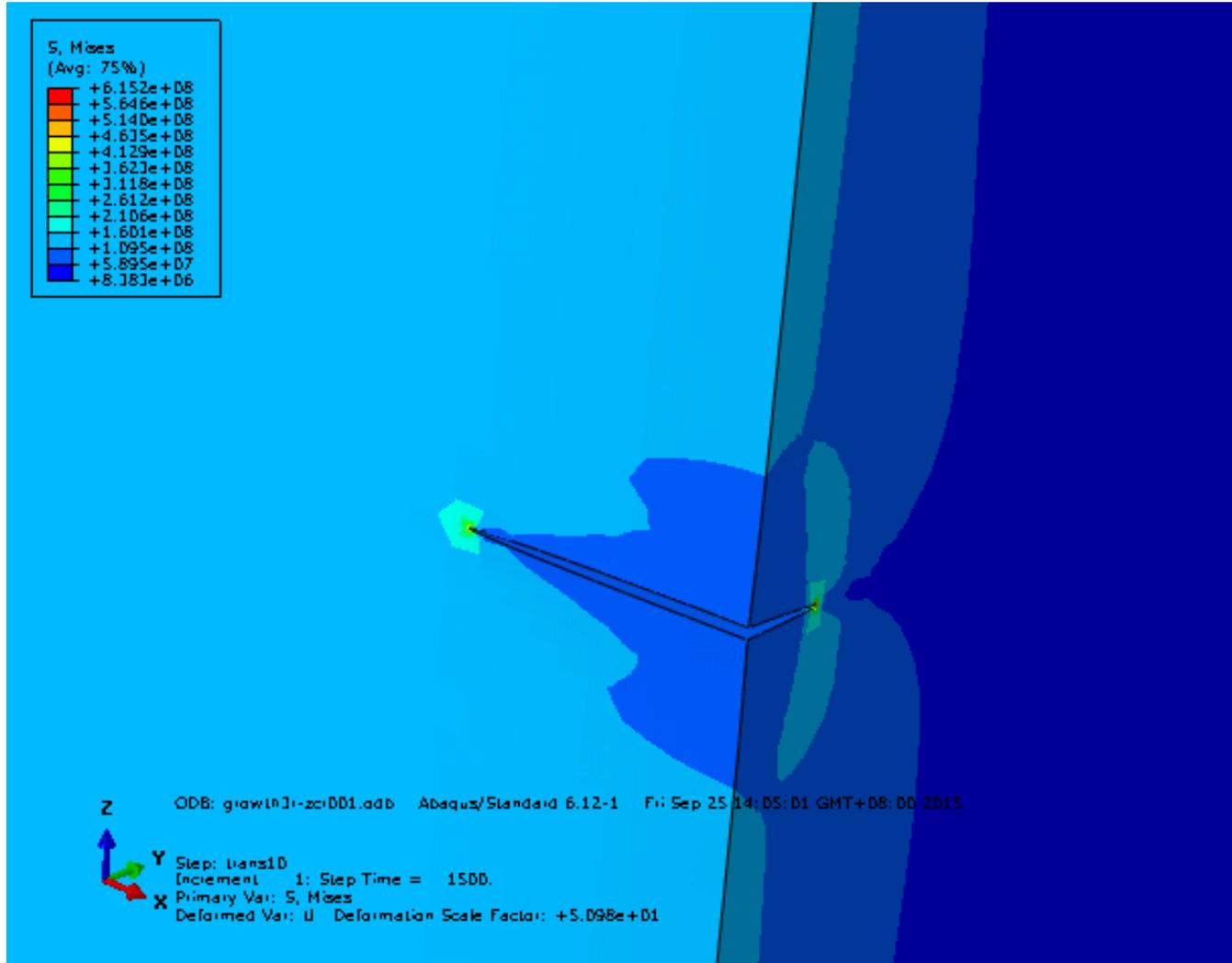


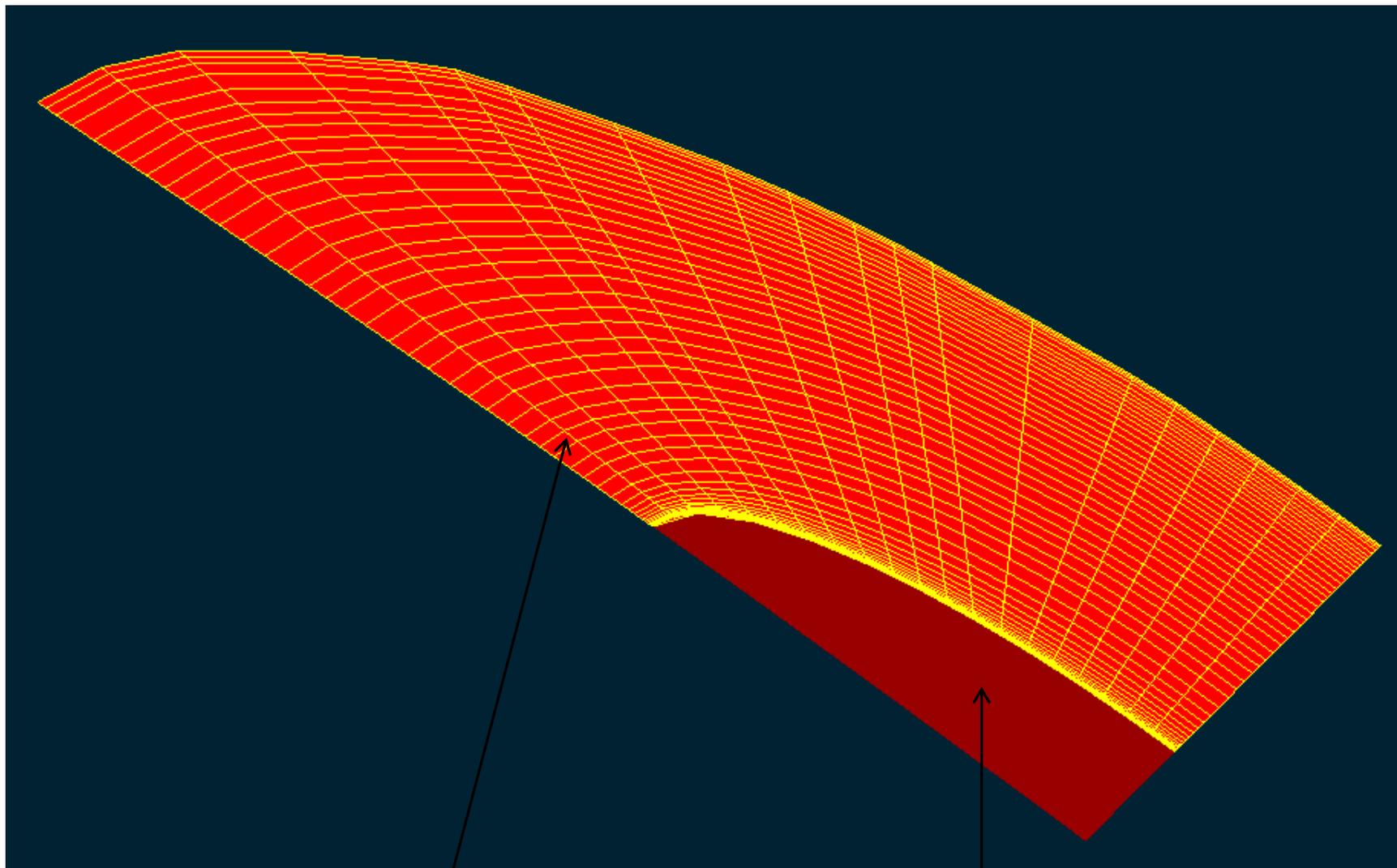
裂纹扩展长度(mm)



经历911次载荷循环后裂纹扩展长度:

- 表面点: 80.4mm
- 最深点: 42.5mm

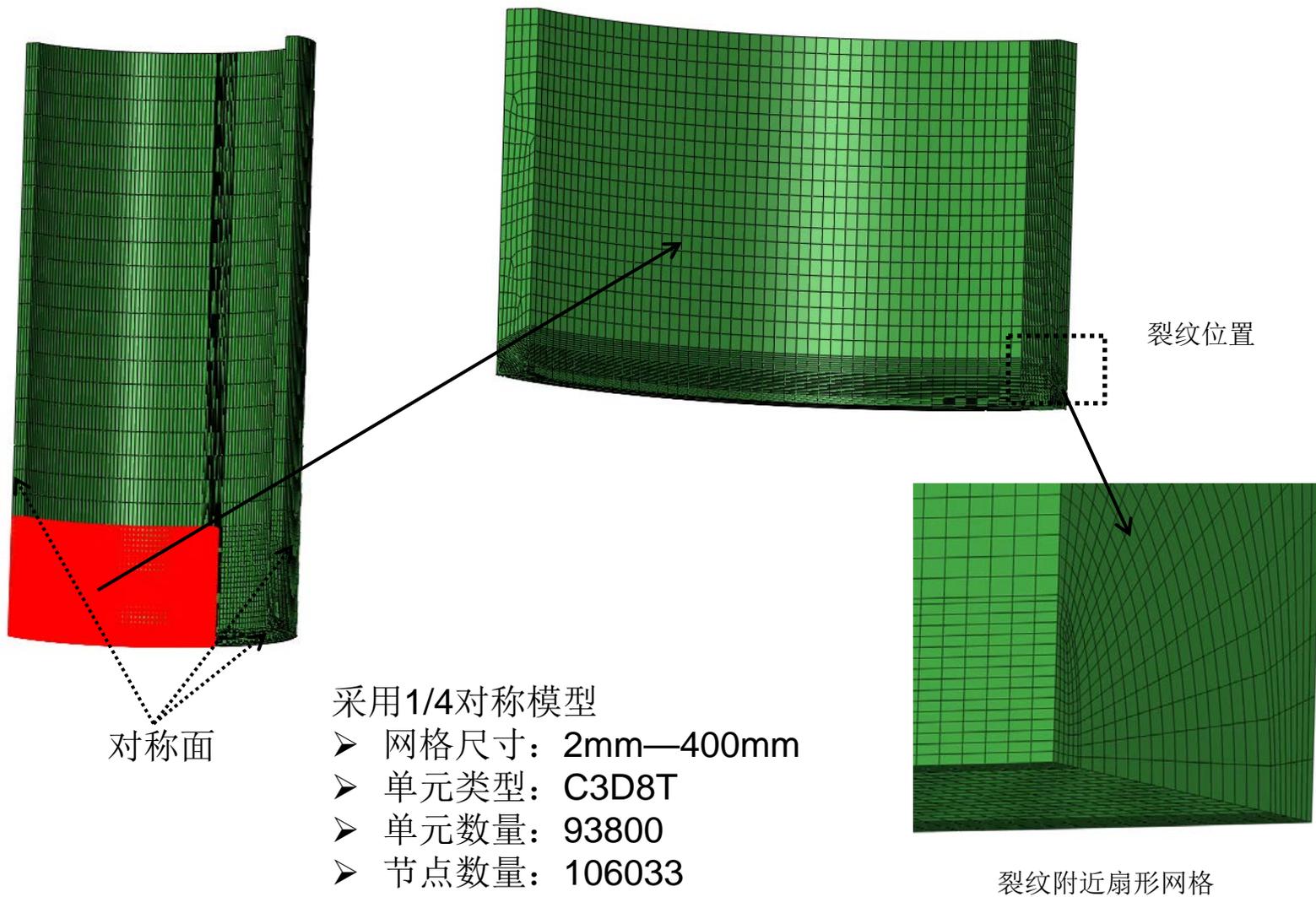


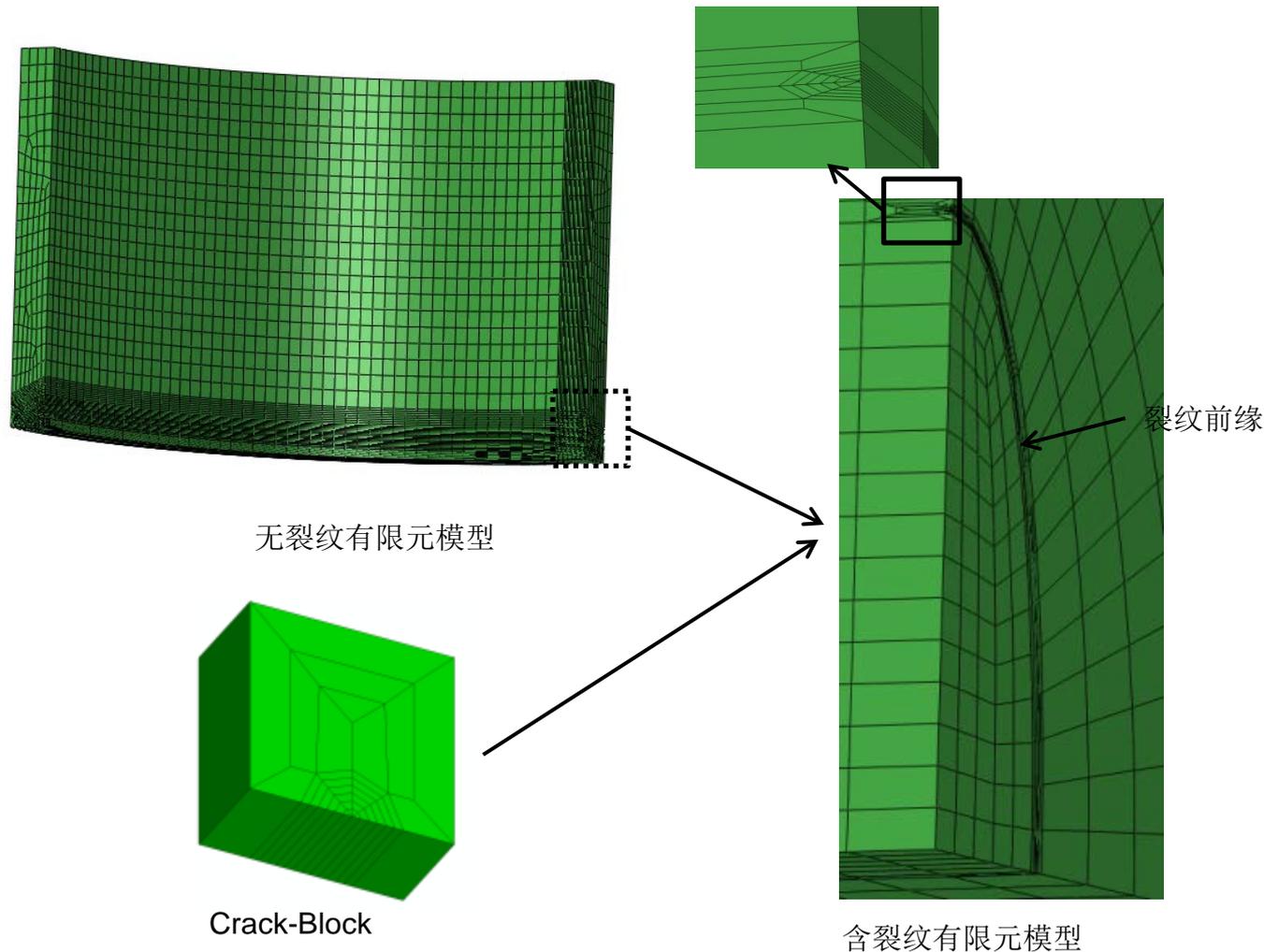


裂纹扩展扇面

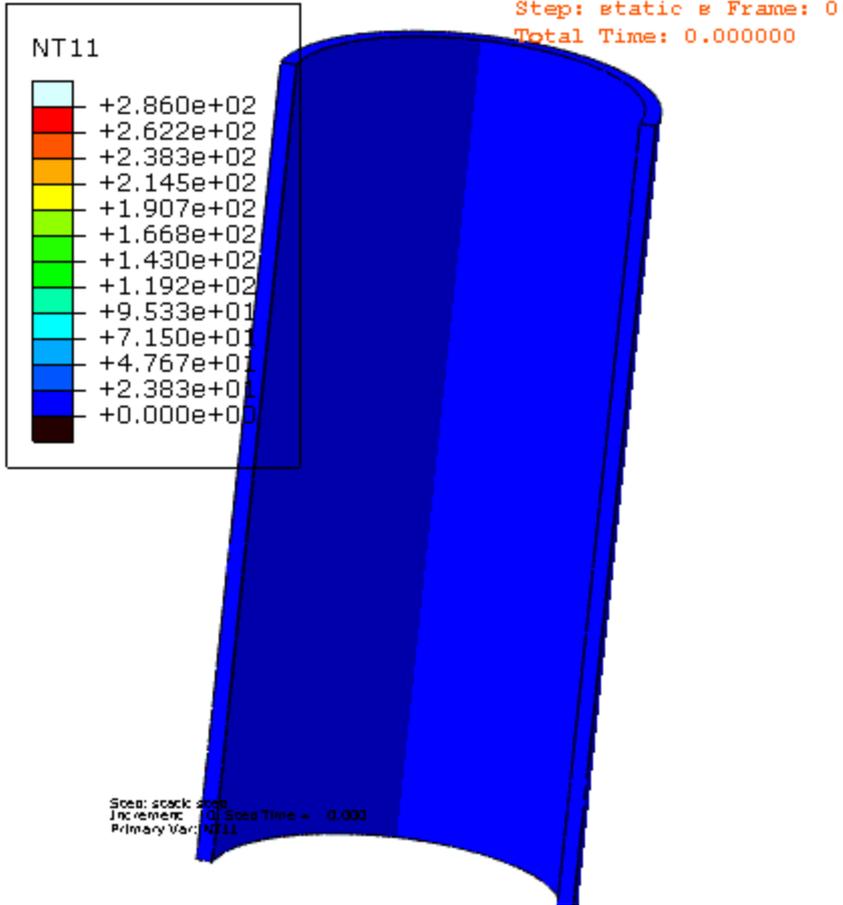
初始裂纹面

- 概述
- 计算输入
- 周向表面裂纹疲劳扩展
- **轴向表面裂纹疲劳扩展**
- 轴向贯穿裂纹蠕变扩展

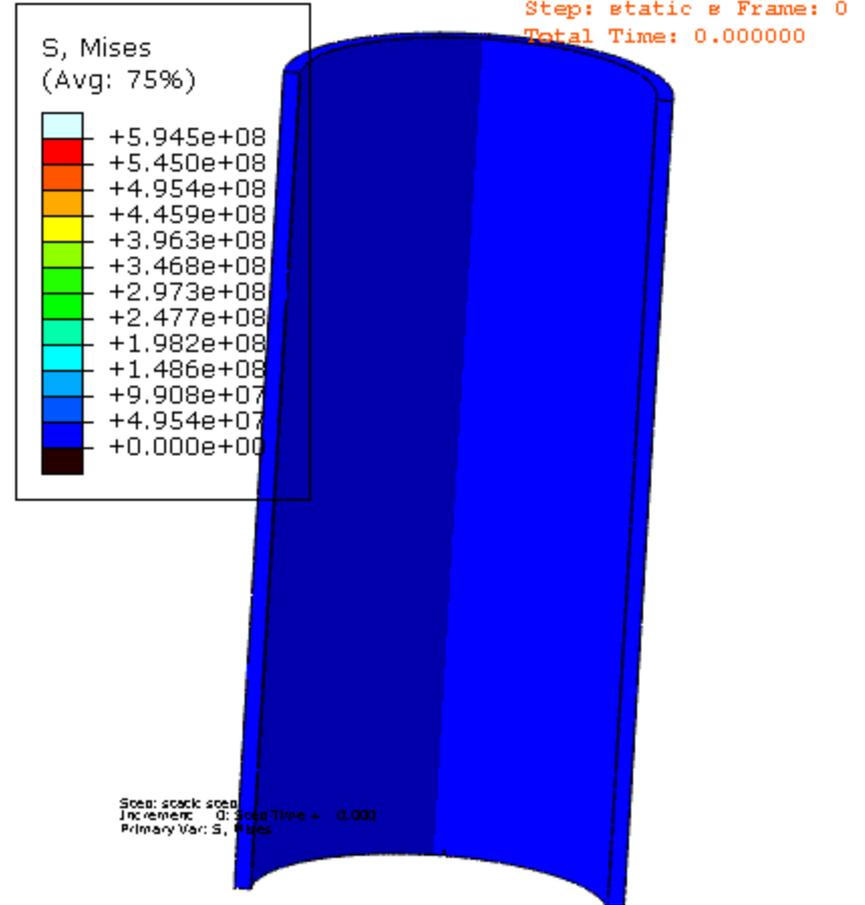




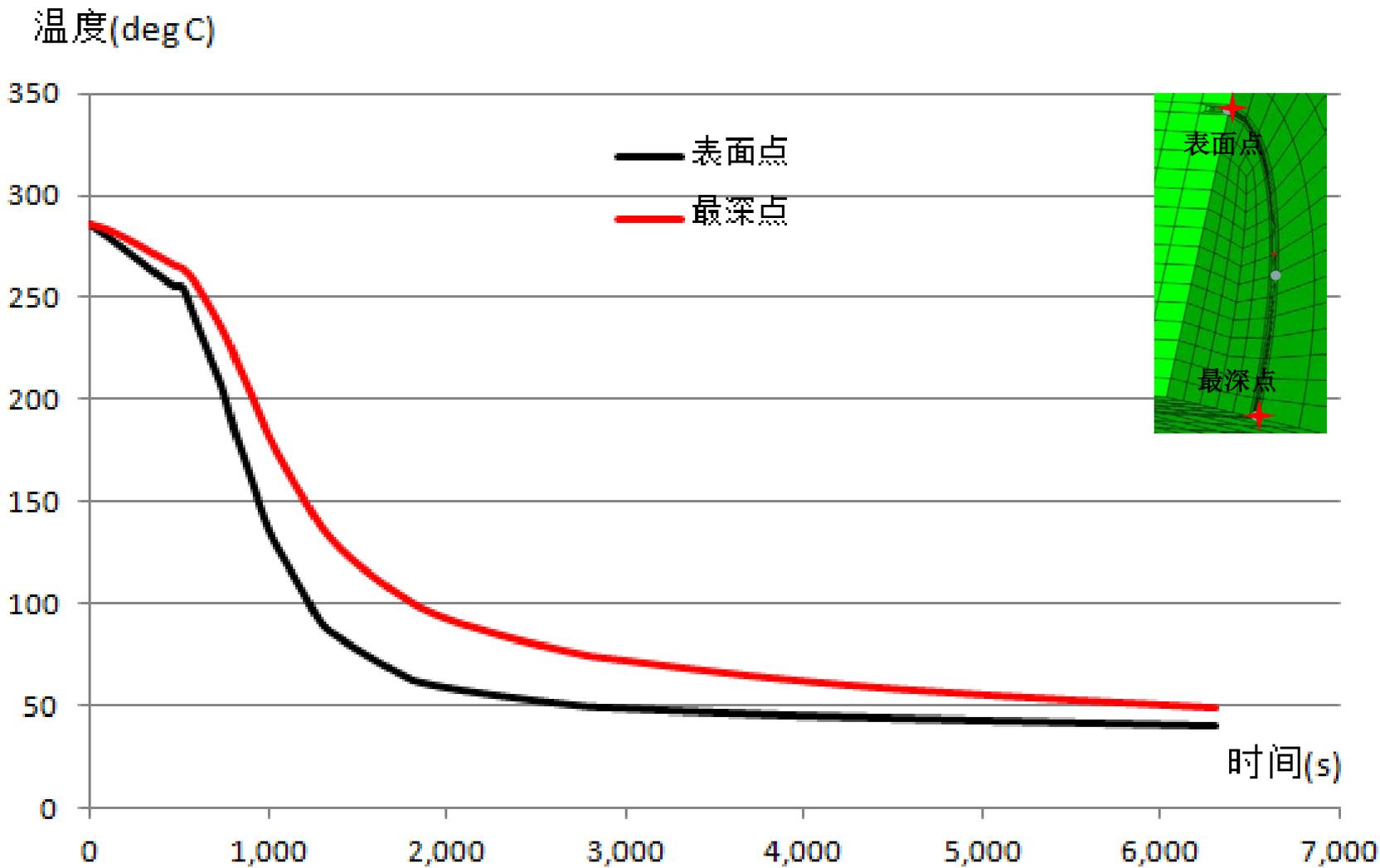
- 裂纹前缘网格由Crack-Block技术生成
- 裂纹扩展方向基于最大能量释放率准则
- 疲劳载荷取整个瞬态过程中裂纹前缘应力强度因子“Min-Max”的循环



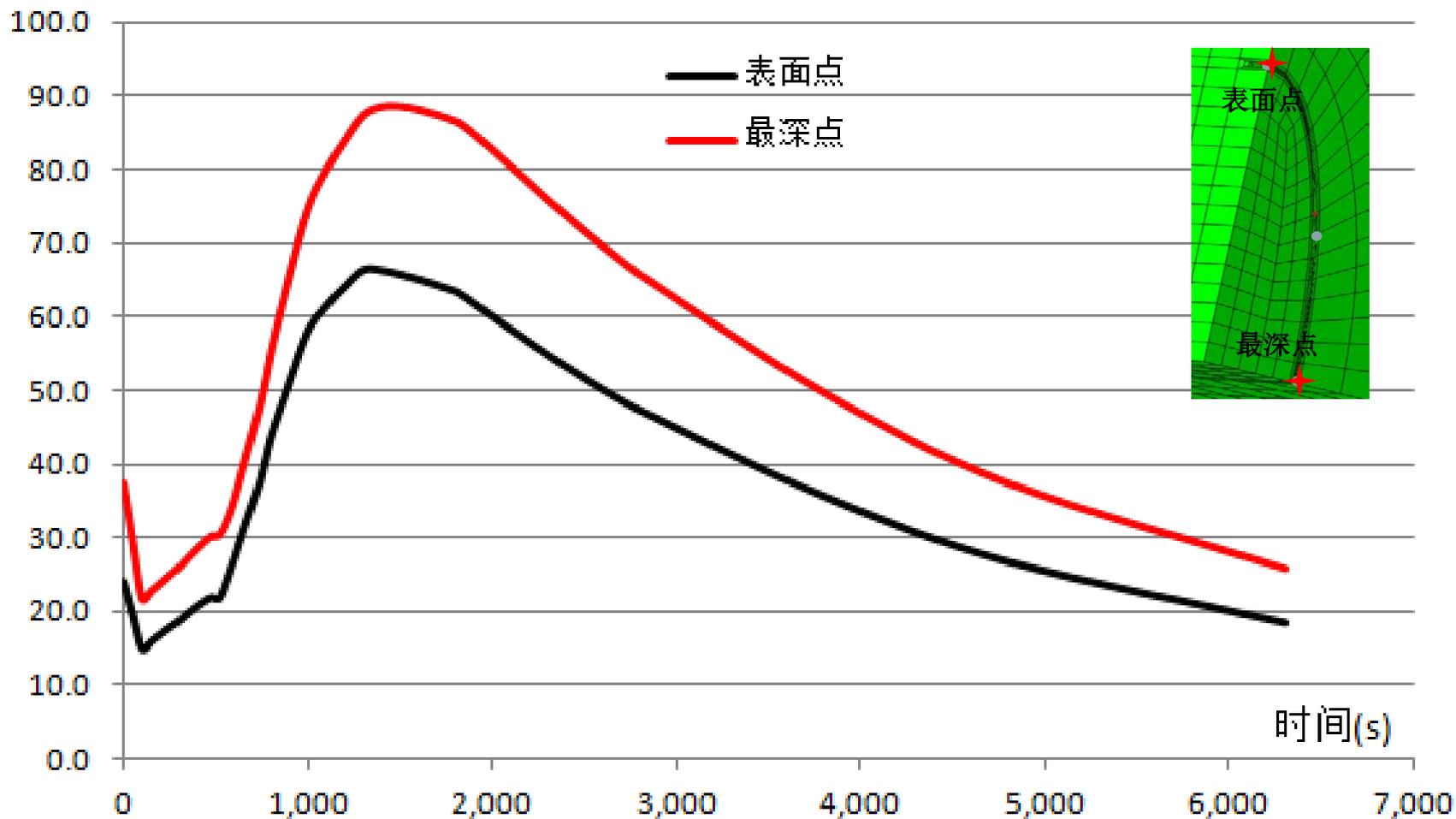
温度

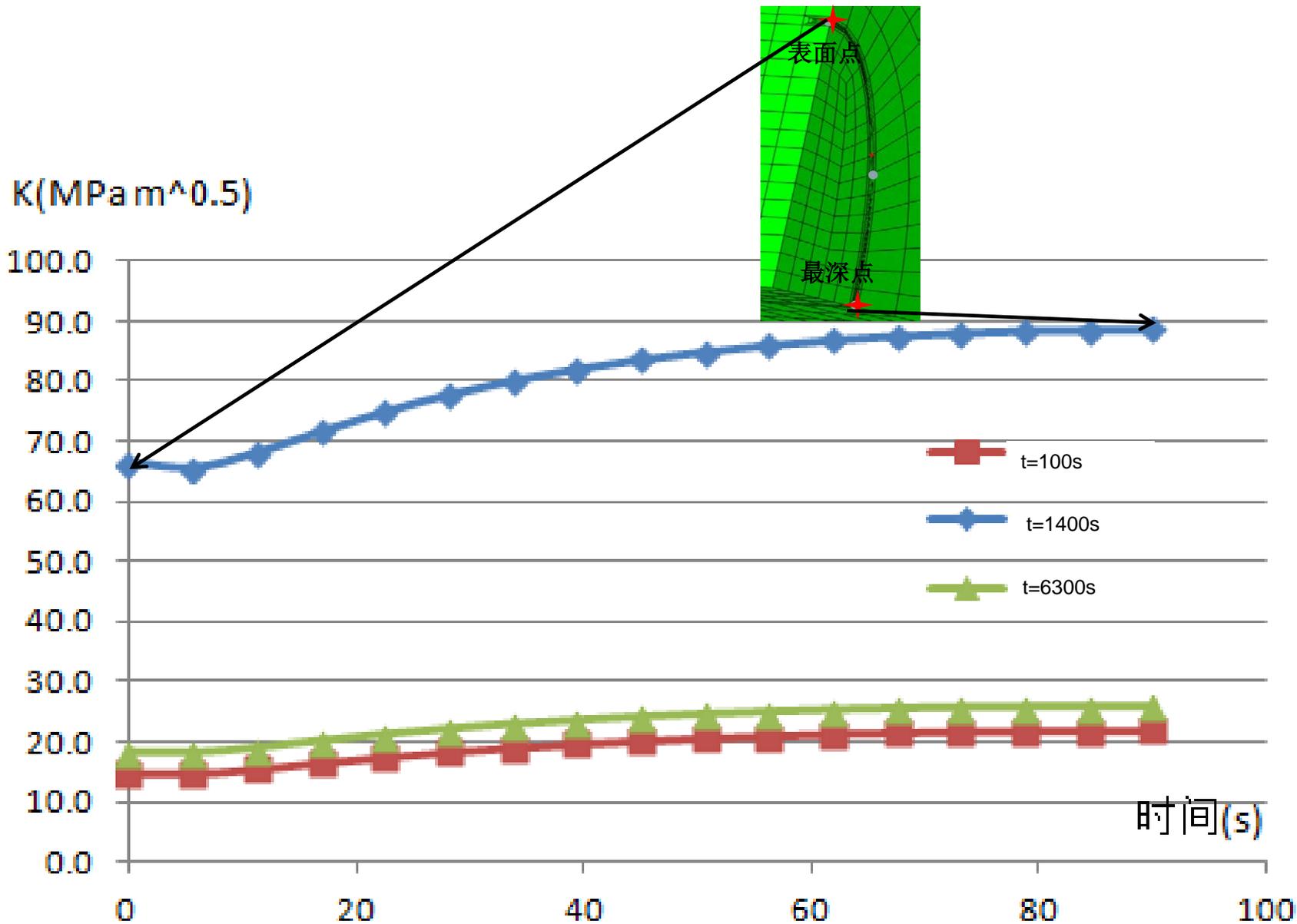


Von-Mises应力

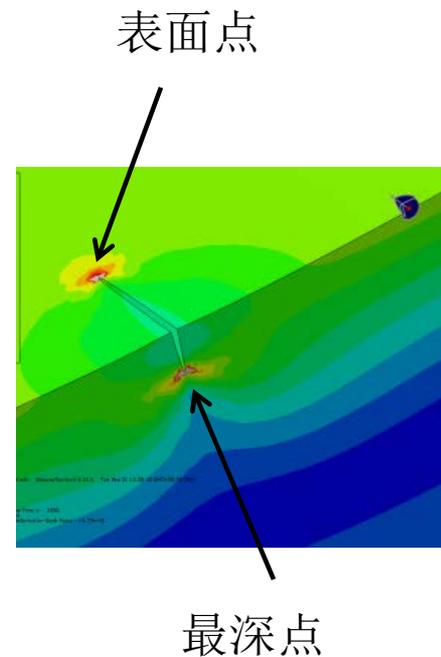
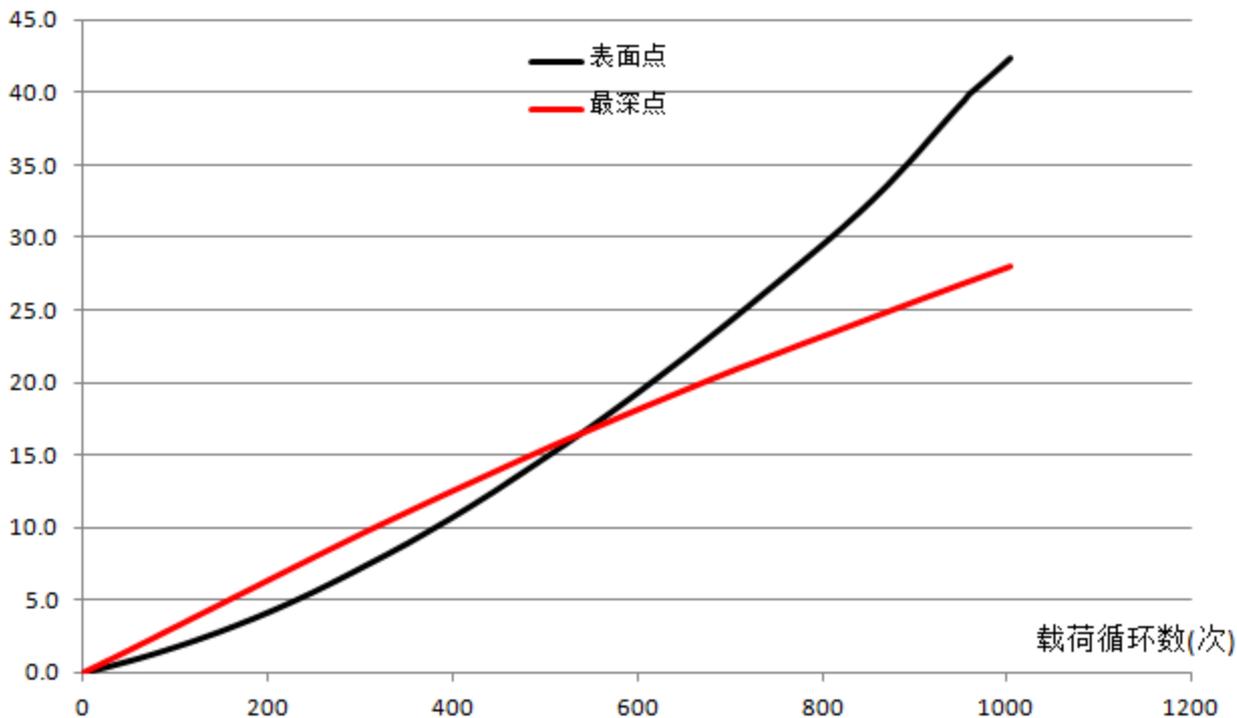


K(MPa m^{0.5})



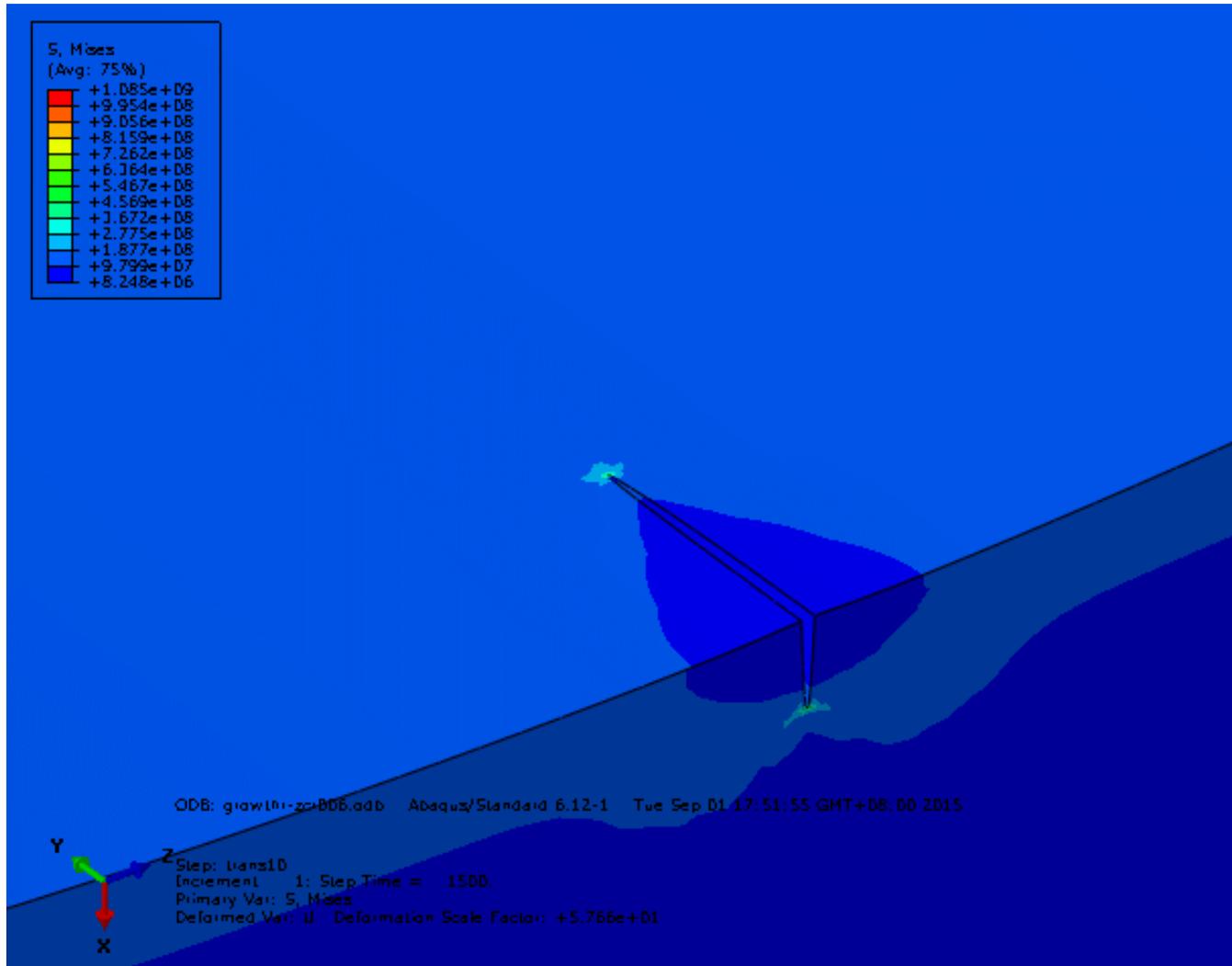


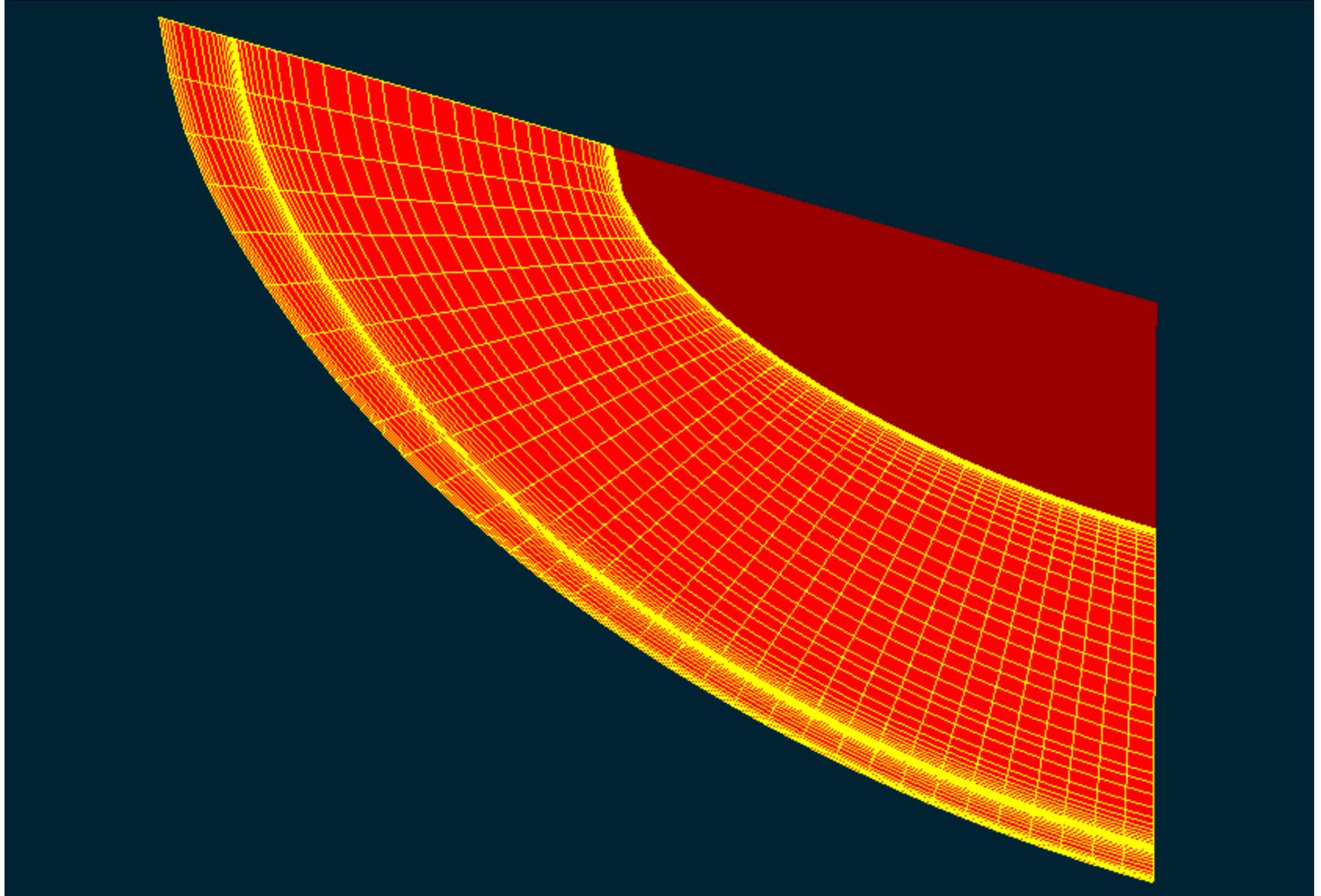
裂纹扩展长度 (mm)



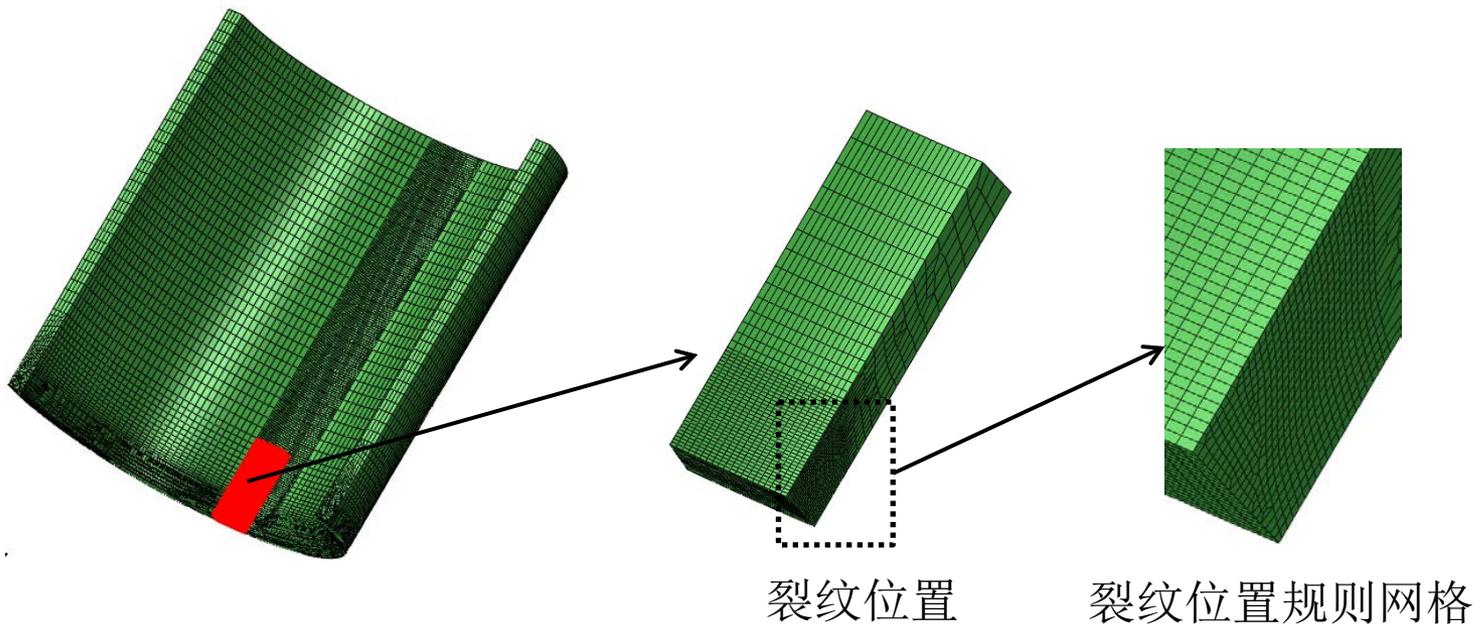
经历1003次载荷循环后裂纹扩展长度:

- 表面点: 42.4mm
- 最深点: 28.0mm



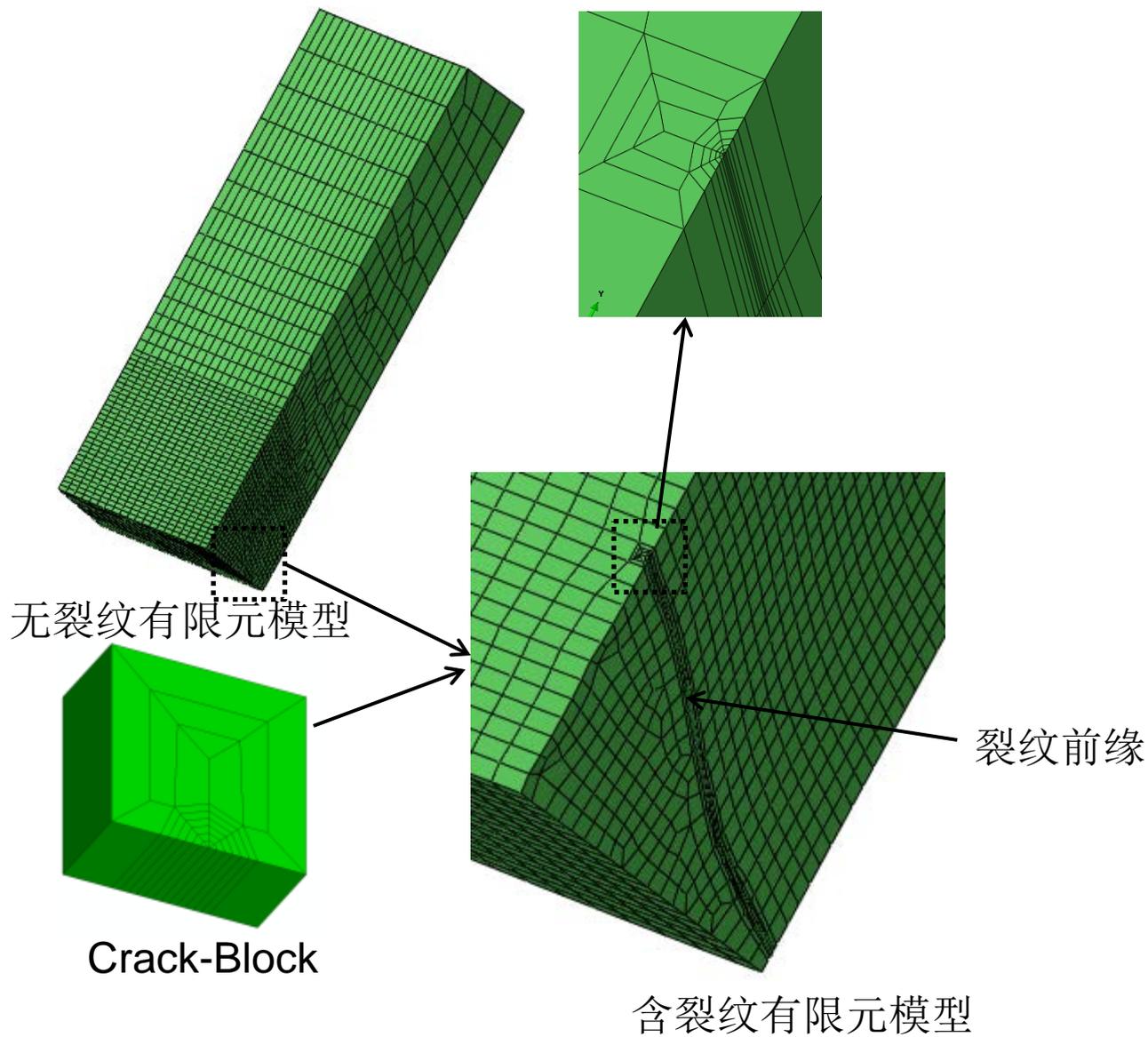


- 概述
- 计算输入
- 周向表面裂纹疲劳扩展
- 轴向表面裂纹疲劳扩展
- 轴向贯穿裂纹蠕变扩展

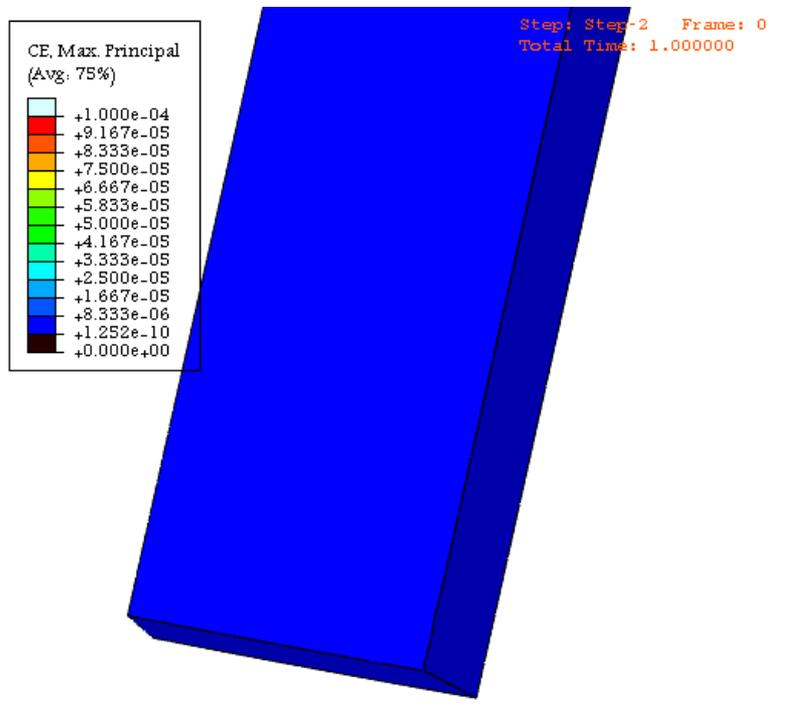


采用1/4对称模型

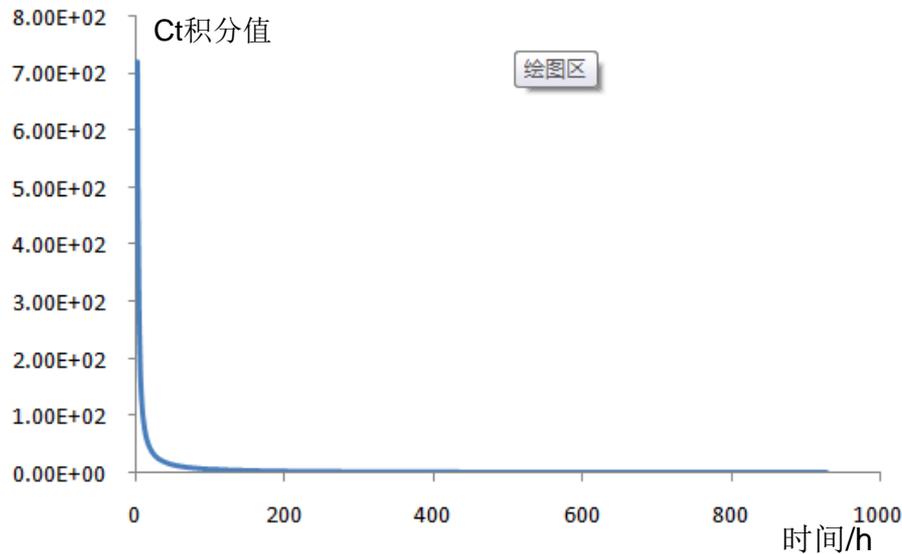
- 网格尺寸：1mm—130mm
- 单元类型：C3D8T
- 单元数量：97320
- 节点数量：108174



裂纹在初始位置时的计算结果



蠕变应变云图



裂纹前缘节点Ct积分变化曲线

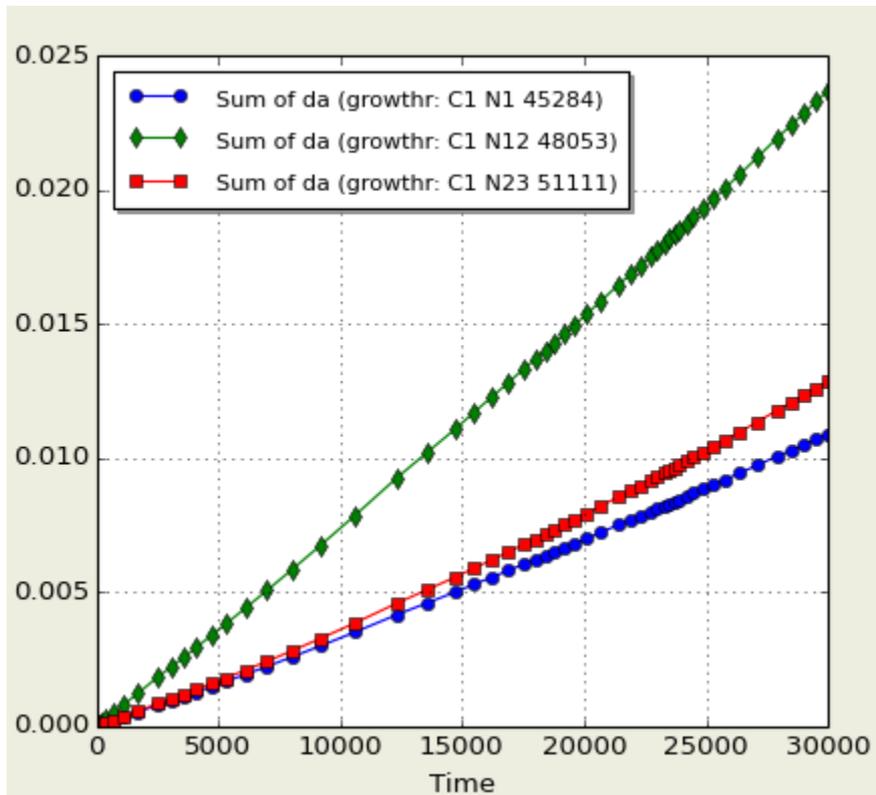
裂纹扩展计算结果

经30000小时

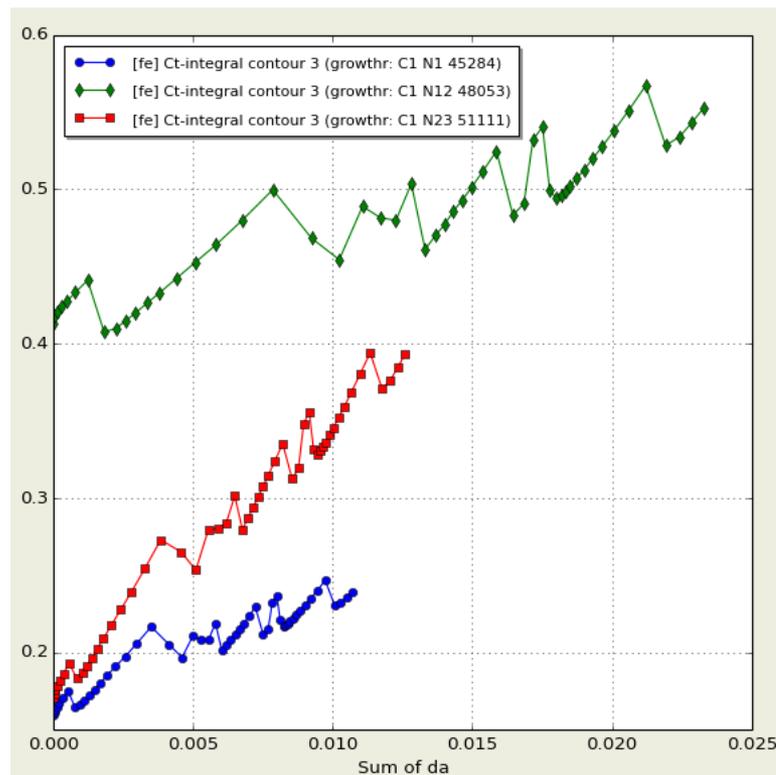
Node 45284: 内表面点扩展 10.9mm

Node 48053: 中间点扩展 23.7mm

Node 51111: 外表面点扩展 12.8mm

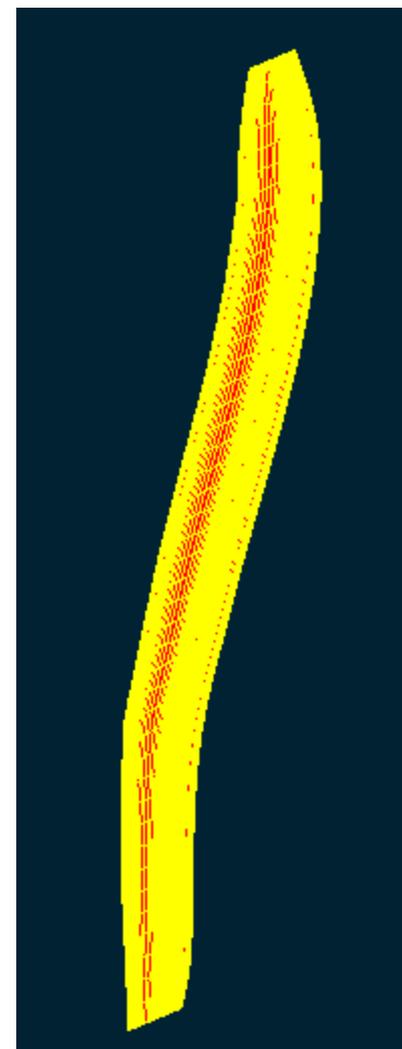
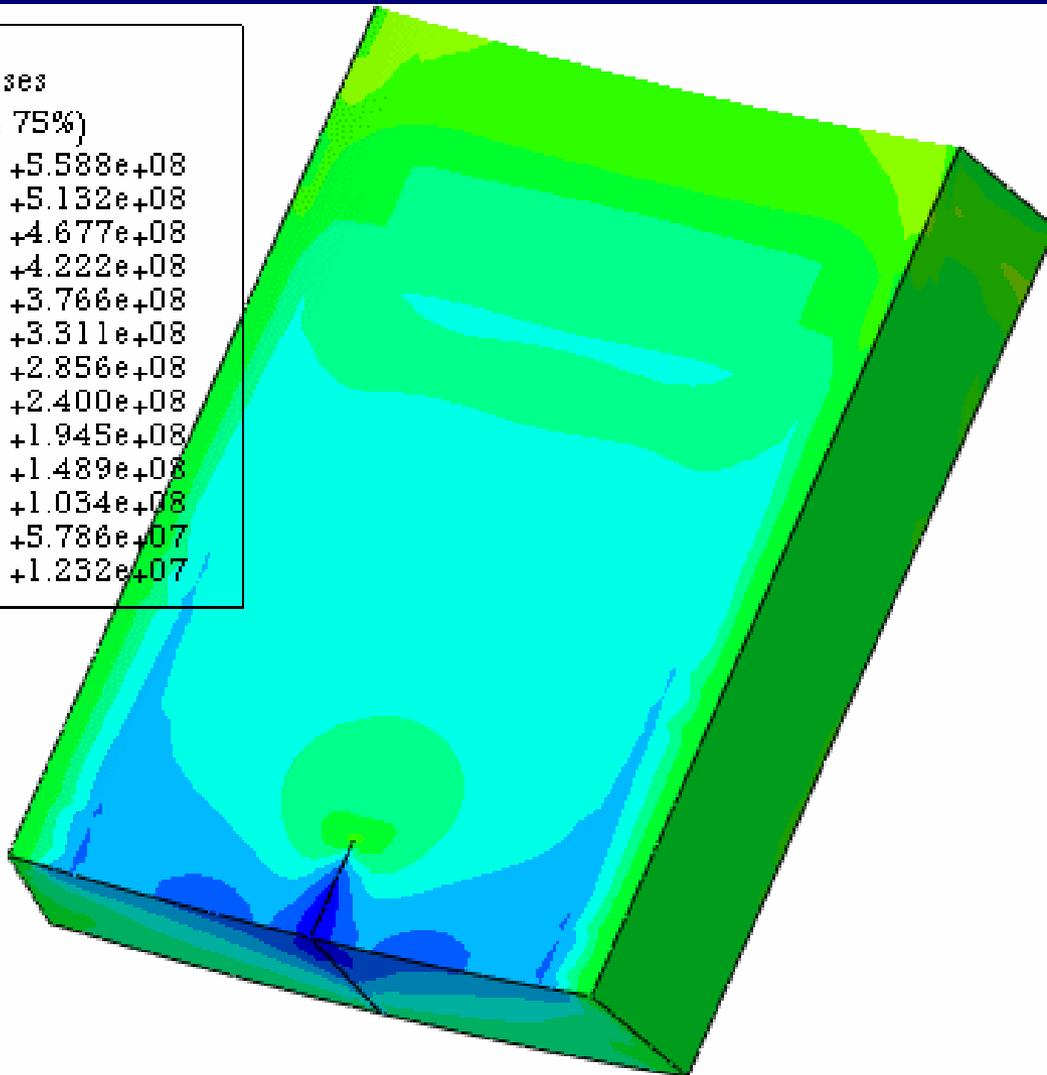
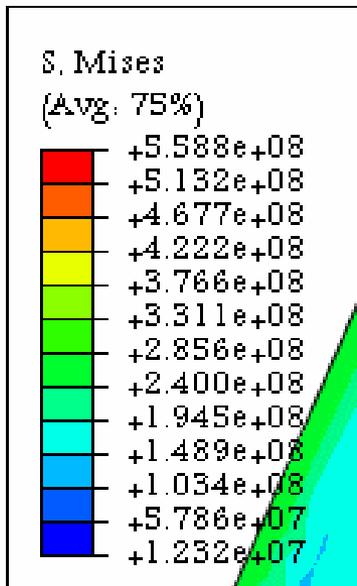


裂纹扩展距离vs时间



裂纹前缘节点Ct积分vs裂纹扩展距离

Viewport: 1 ODB: F:/Archer/NPIC/axialTcrack/growthr-zcr001.odb



裂纹扩展扇面

谢 谢