

# 热和机械载荷作用下的压力容器 接管区的应力强度因子

上海辉策信息科技有限公司

焦广臣，马春雷，李志杰

2016年4月

**CONSYS**

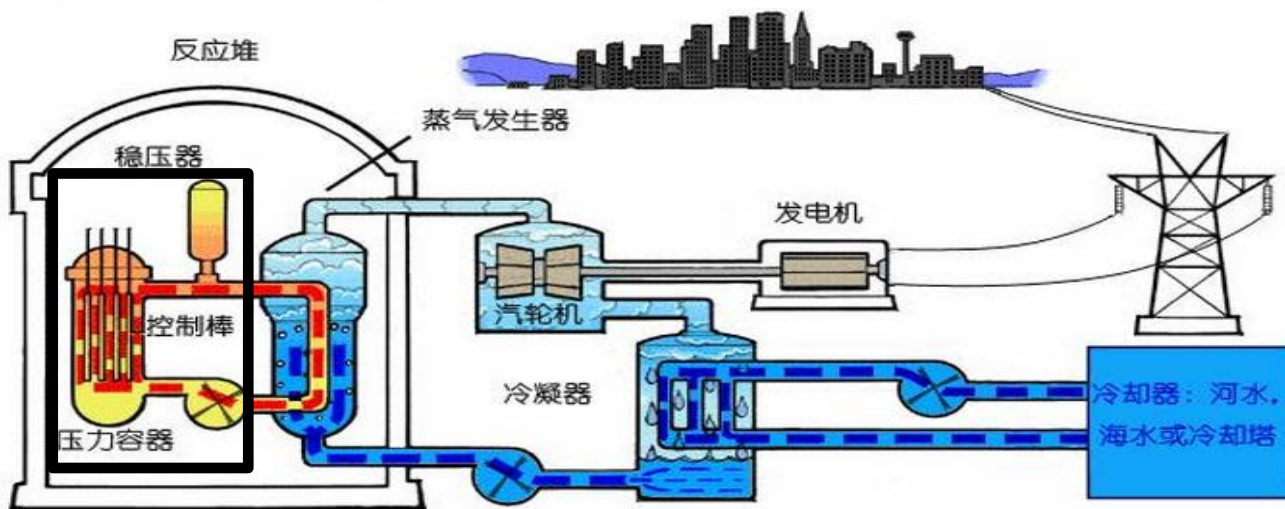
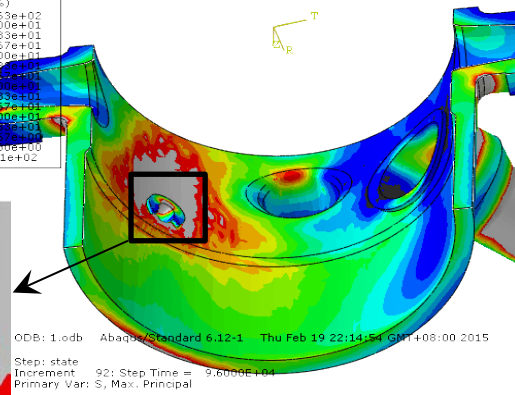
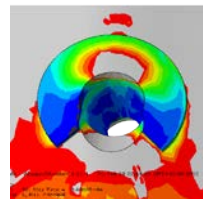
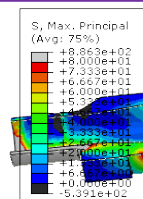
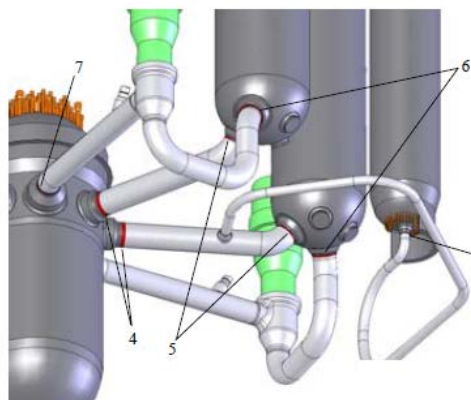
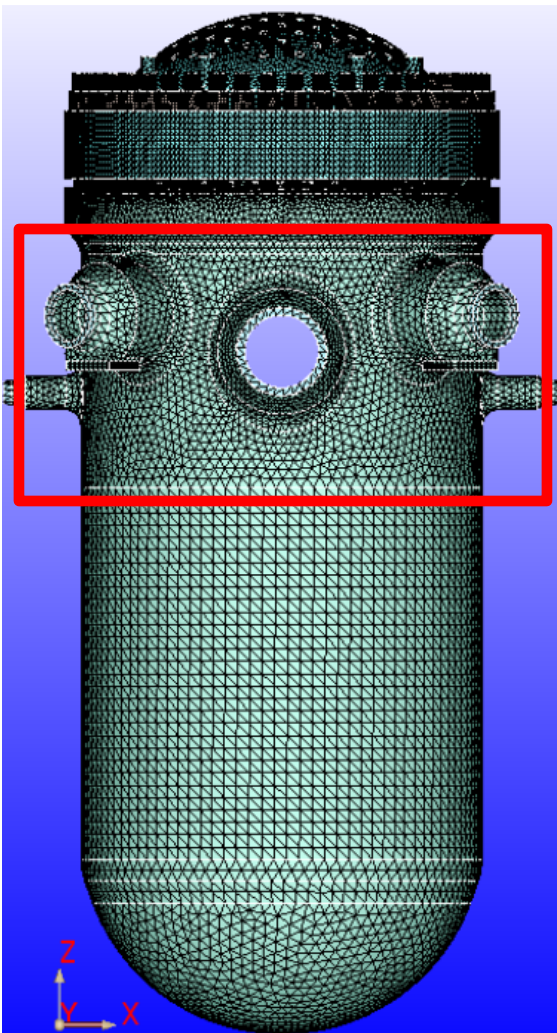
Consulting System

[WWW.CONSYSGROUP.COM.CN](http://WWW.CONSYSGROUP.COM.CN)

- ❧ 研究目的
- ❧ 研究方法
- ❧ 有限元模型
- ❧ 计算结果
- ❧ 主要结论

- ❧ 研究目的
- ❧ 研究方法
- ❧ 有限元模型
- ❧ 计算结果
- ❧ 主要结论

- 反应堆压力容器接管区几何复杂，工作恶劣，极易产生裂纹；
- 评估裂纹结构的断裂安全性是工程强度分析的重要目标。



## ☞ 压力容器接管区应力强度因子的计算方法见于以下各标准

- ☞ 在用含缺陷压力容器安全评定（国标）
- ☞ ASME 锅炉压力容器规范 附录G
- ☞ ASME 非规定附录 SECTION XI-2010
- ☞ ASME NONMADATORY APPENDIX G 2013 SECTION XI
- ☞ API579-1 ASME FFS-1-2007 Fitness-for –Service-Sencond Edition
- ☞ PVRC Recommendations on Toughness Requirements for Ferritic Materials (WRC-0175)

☞ 但是对于热机载荷作用下的接管区模型，仅ASME 2013给出了结构特定裂纹位置的应力强度因子计算方法，受限于工程应用。因此，基于Zencrack有限元法，本文研究ASME2013计算方法的适用性问题，评估结构的断裂安全性。

- ❧ 研究目的
- ❧ 研究方法
- ❧ 有限元模型
- ❧ 计算结果
- ❧ 主要结论

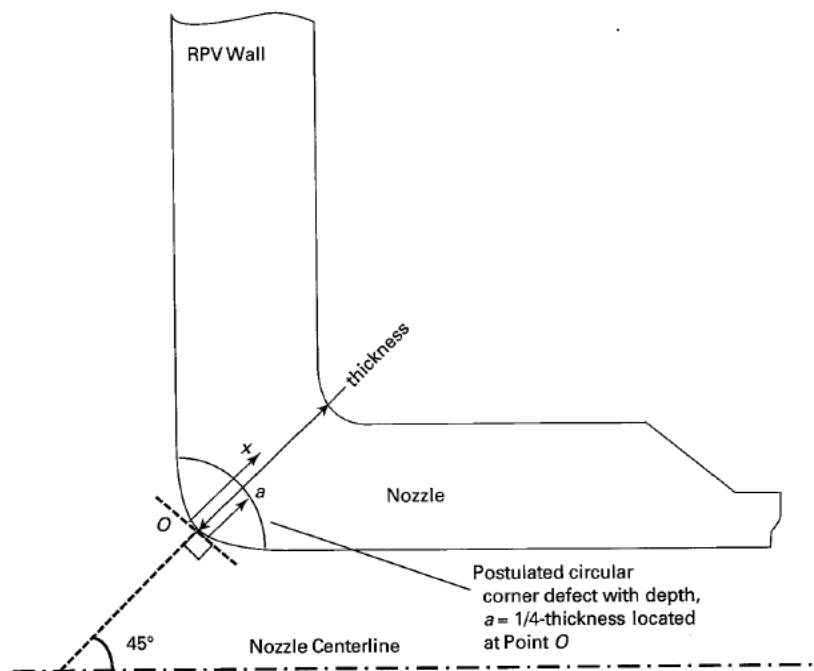
对于热-机械载荷作用下的结构接管区结构，通常采用多项式拟合预设裂纹位置的应力场，进而计算应力强度因子，公式为：

$$K_I = \sqrt{\pi a} \left[ 0.723 \cdot A_0 + 0.551 \cdot \left( \frac{2a}{\pi} \right) \cdot A_1 + 0.462 \cdot \left( \frac{a^2}{2} \right) \cdot A_2 + 0.408 \cdot \left( \frac{4a^3}{3\pi} \right) \cdot A_3 \right]$$

其中应力场的拟合公式为：

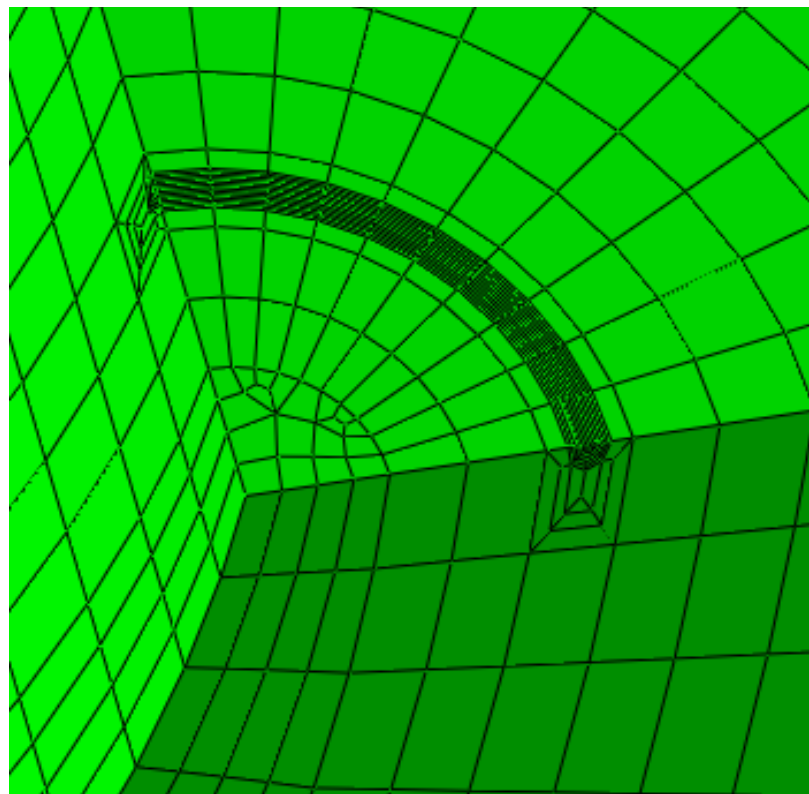
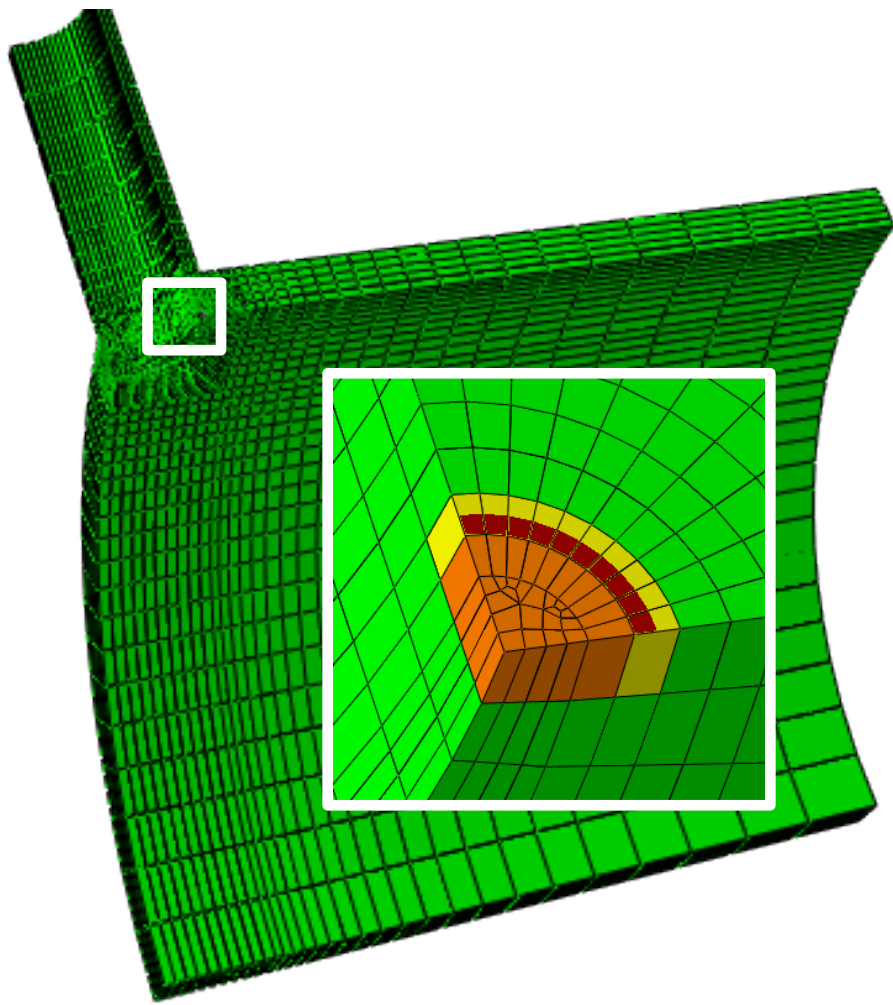
$$\sigma = A_0 + A_1 \left( \frac{x}{a} \right) + A_2 \left( \frac{x}{a} \right)^2 + A_3 \left( \frac{x}{a} \right)^3$$

$K_I$  为应力强度因子， $a$  为裂纹深度，  
 $\sigma$  为应力分布函数，  
 $A_0, A_1, A_2, A_3$  为多项式拟合系数。





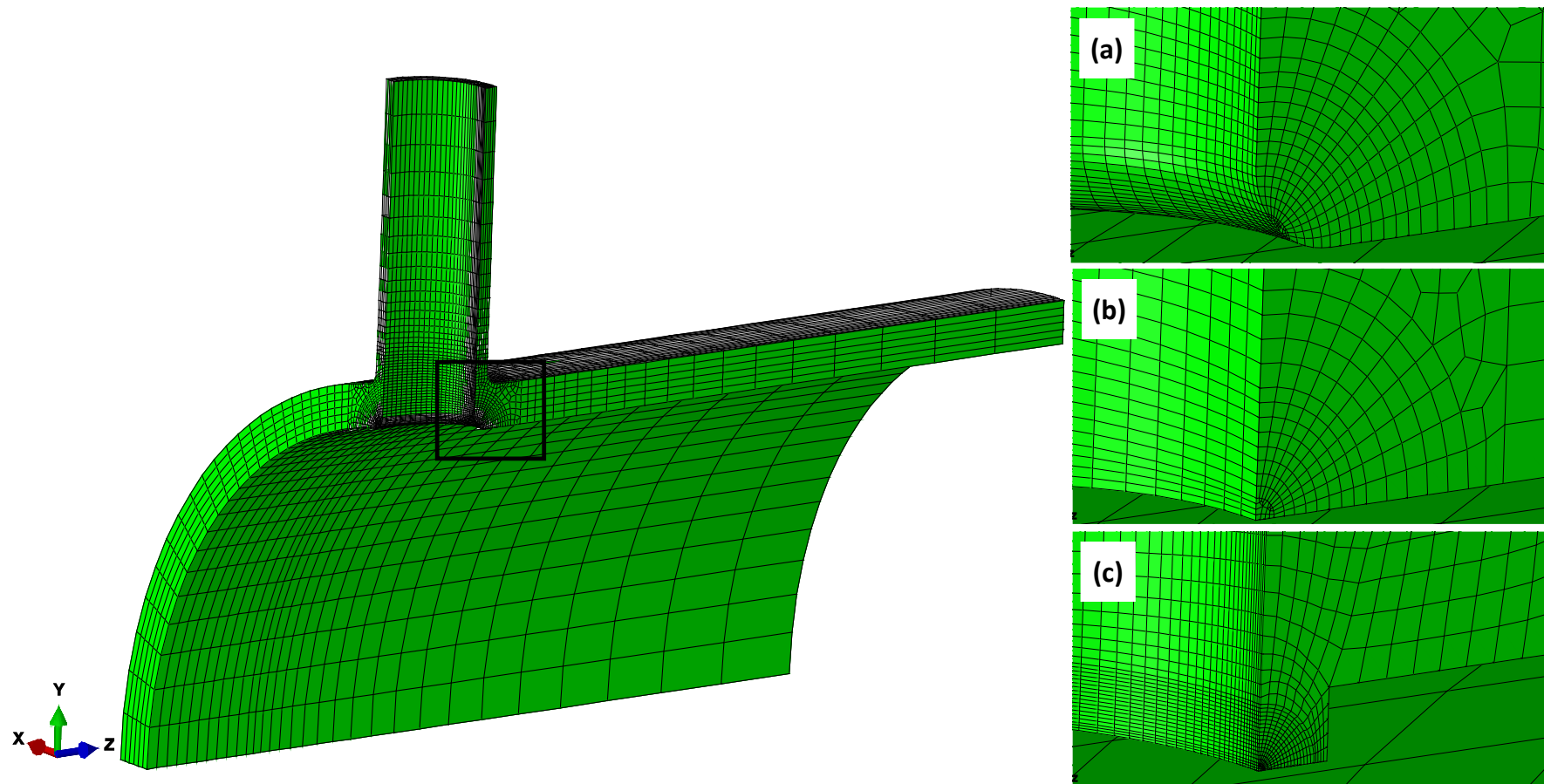
基于ABAQUS无裂纹有限元模型的基础上，Zencrack设置裂纹区域网格，生成带裂纹的有限元模型，进而提交计算。



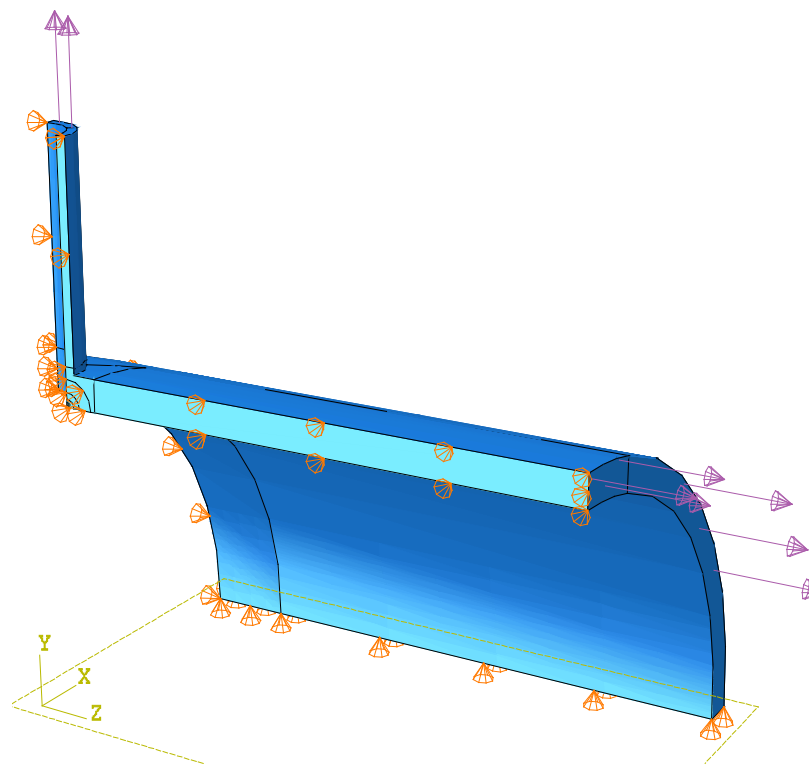
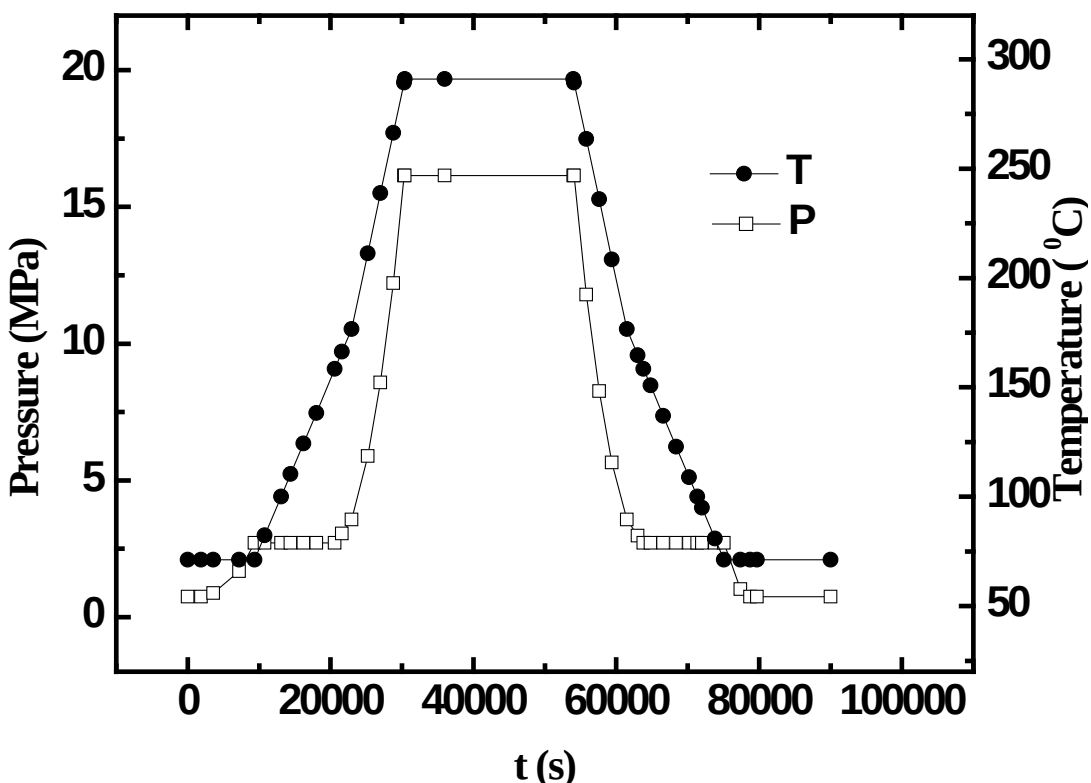


- ❧ 研究目的
- ❧ 研究方法
- ❧ 有限元模型
- ❧ 计算结果
- ❧ 主要结论

-  圆角接管 (a) : 包括22843个节点和19050个六面体单元
-  直角接管 (b) : 包括10374个节点和8300个六面体单元
-  凸台接管 (c) : 包括30852个节点和26204个六面体单元



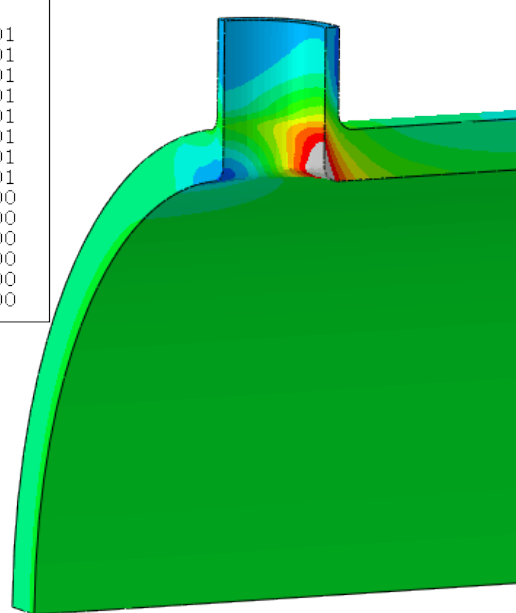
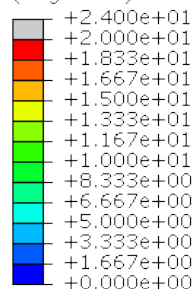
模型内表面第三类热力边界条件；外表面施加绝热边界条件。接管和主管断面施加由内压导致的拉应力。



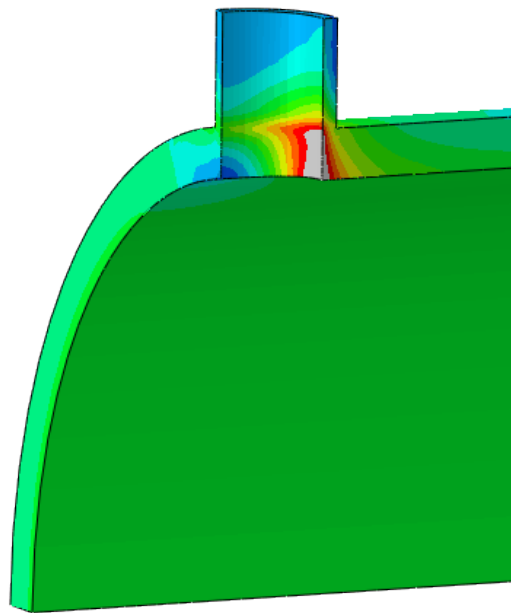
- ❧ 研究目的
- ❧ 研究方法
- ❧ 有限元模型
- ❧ 计算结果**
- ❧ 主要结论

无裂纹模型的Tresca应力的高应力区均位于接管的拐角区域，这些位置是裂纹的高发区域，基于此，设置结构接管的拐角裂纹。

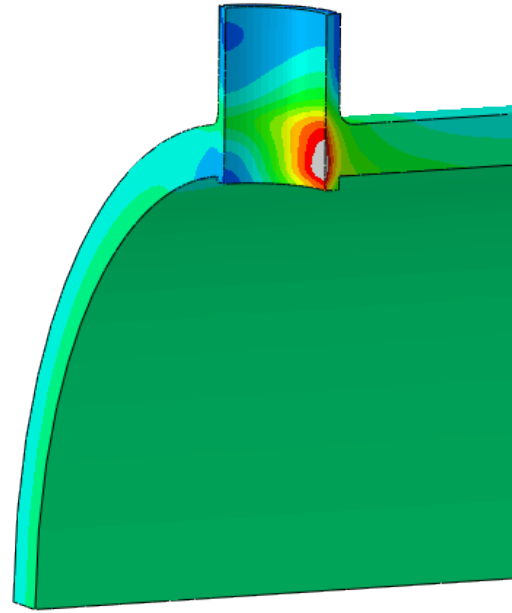
S, Tresca  
(Avg: 75%)



(a) 圆角接管

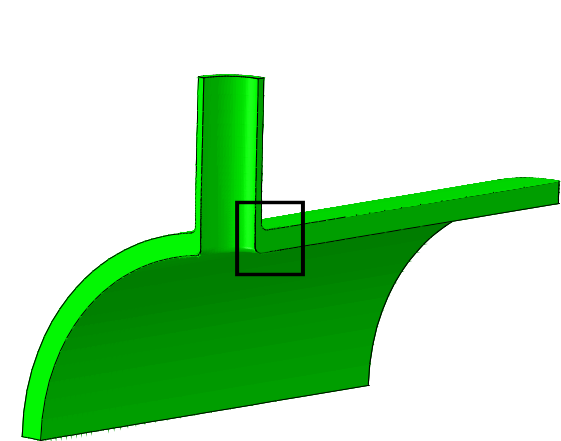
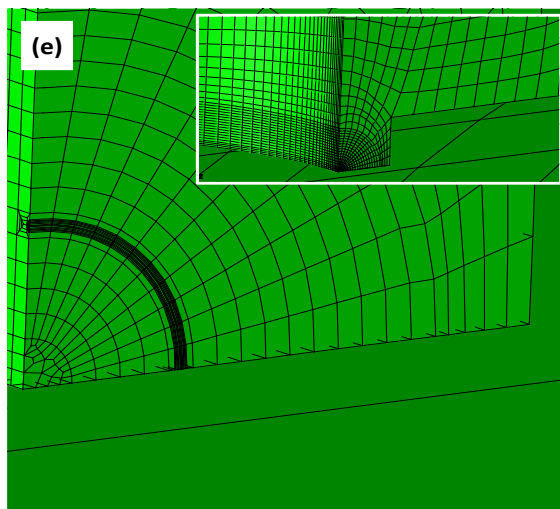
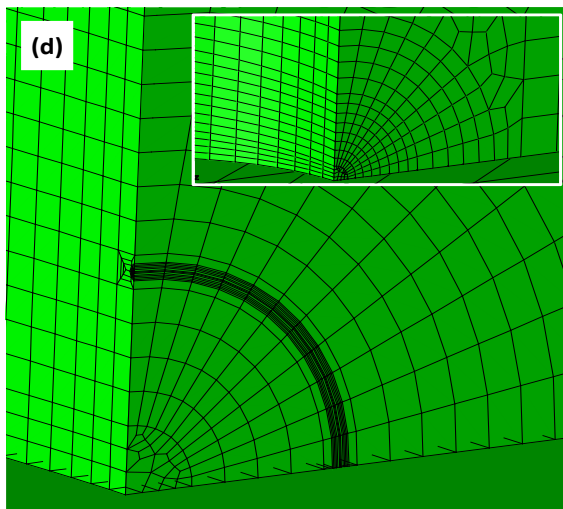
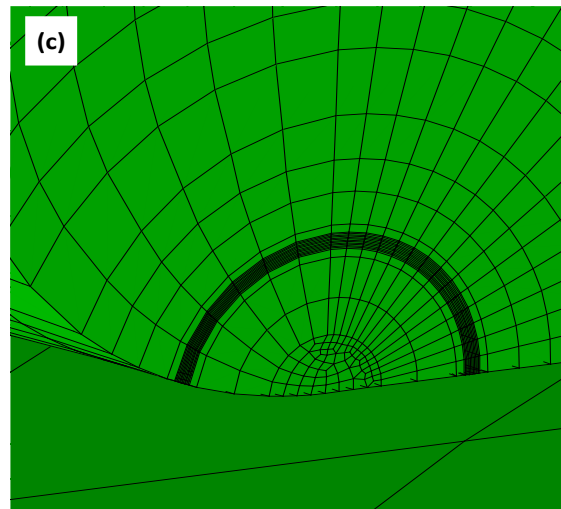
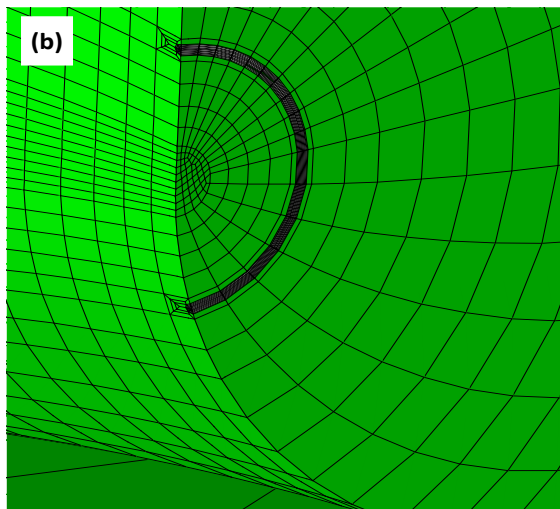
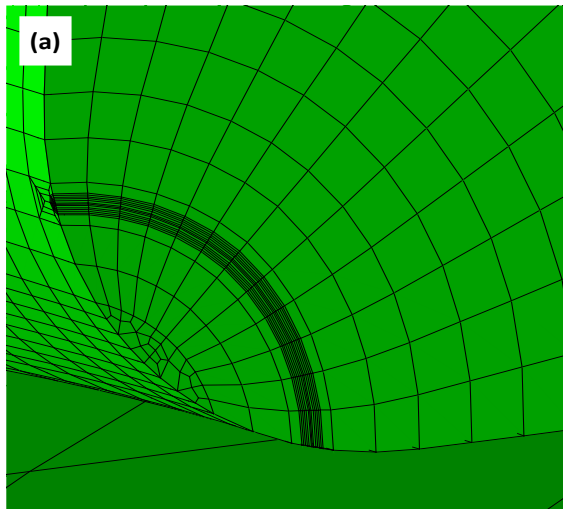


(b) 直角接管



(c) 带凸台的接管

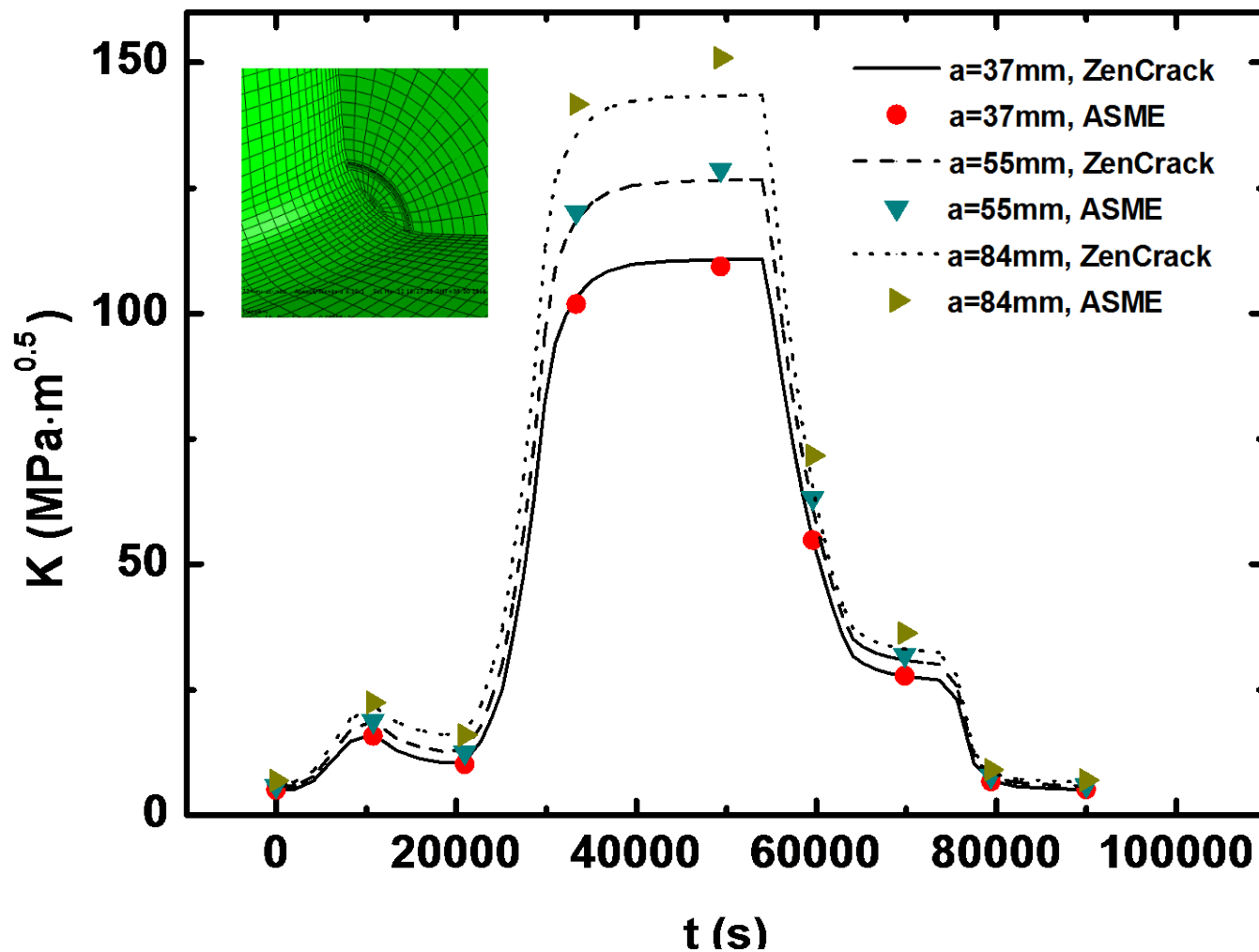
## 三种接管拐角的有限元模型



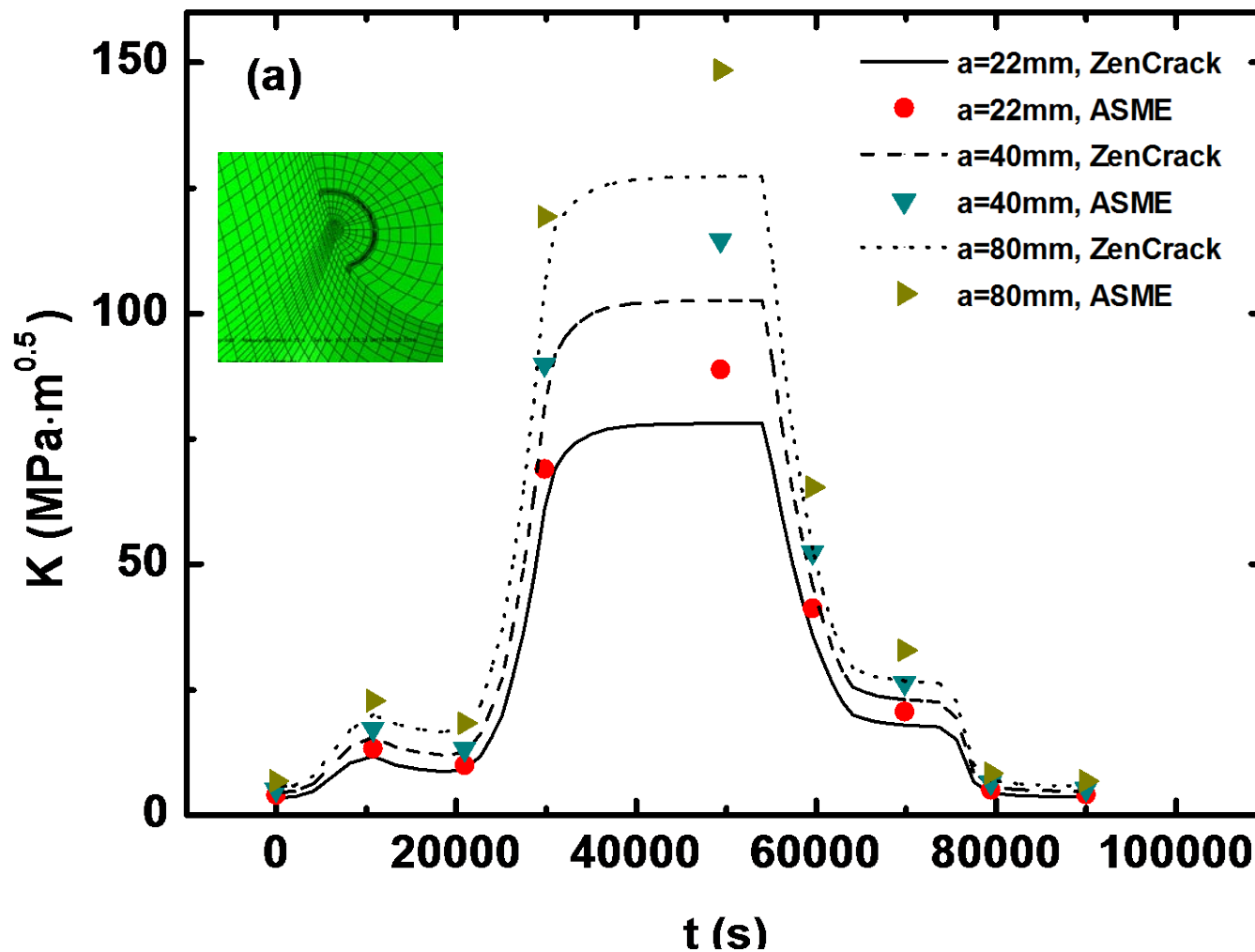
- ❧ 研究目的
- ❧ 研究方法
- ❧ 有限元模型
- ❧ 计算结果**
- ❧ 主要结论



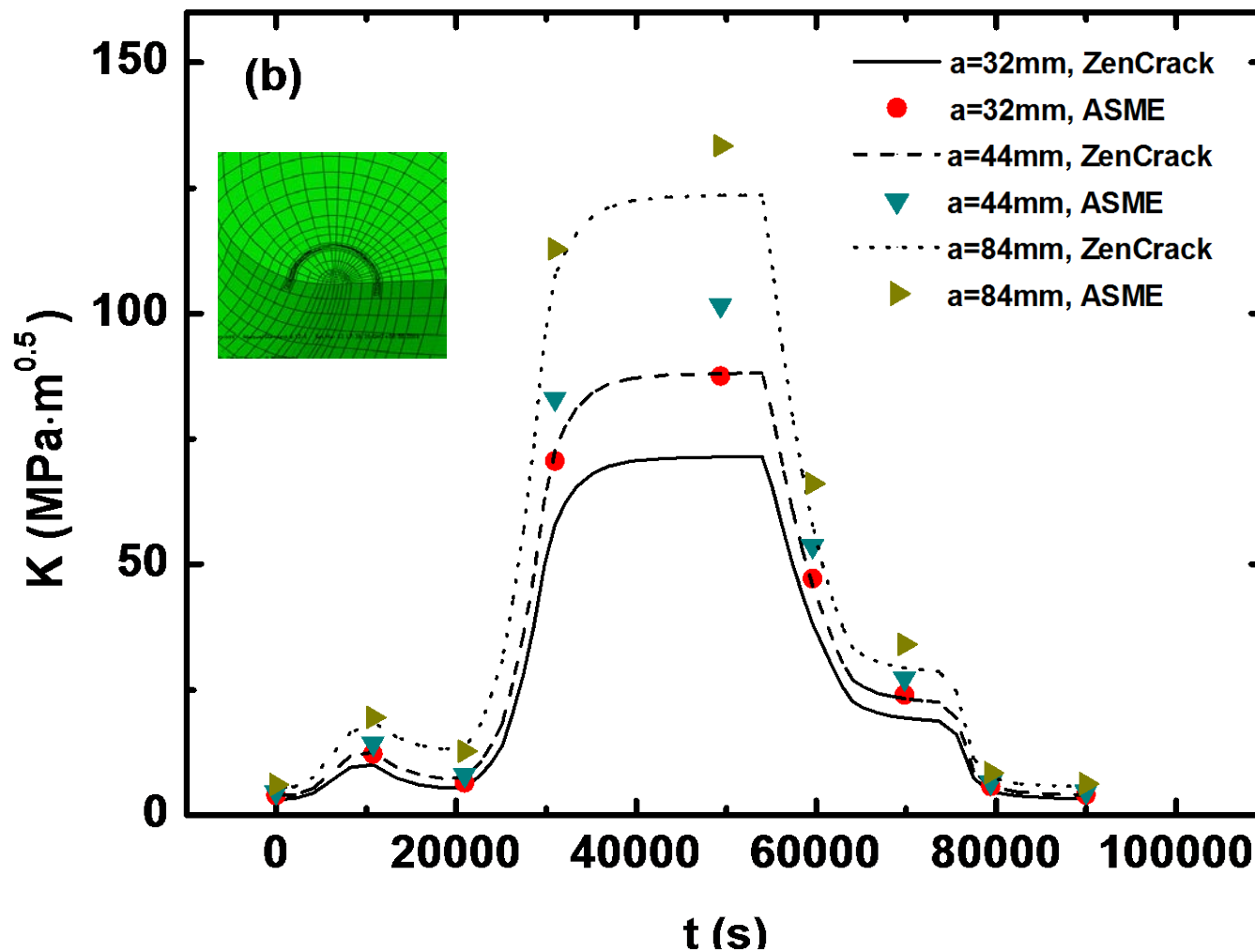
## 圆角接管模型，裂纹位于45°方向



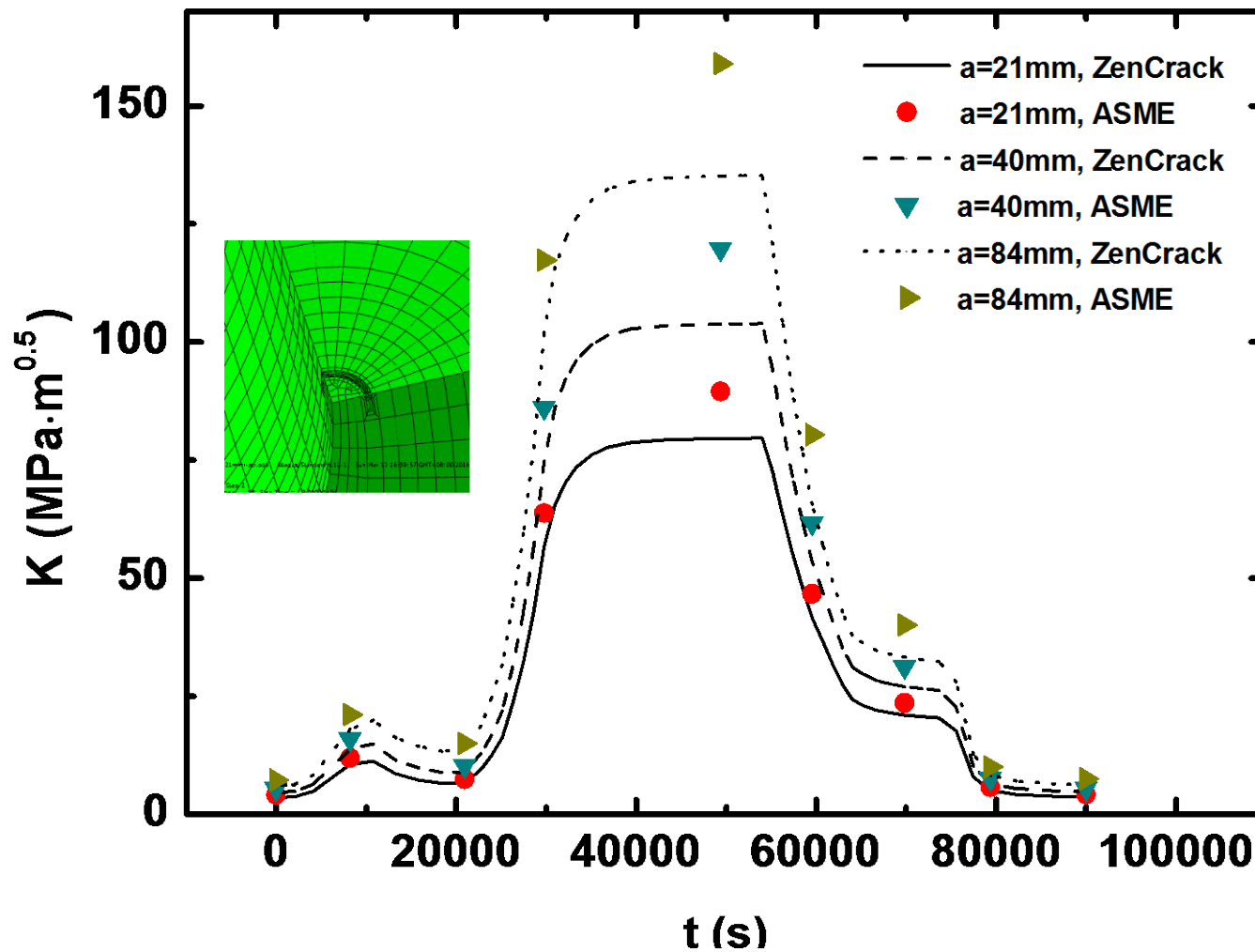
## 圆角接管模型，裂纹偏置于接管



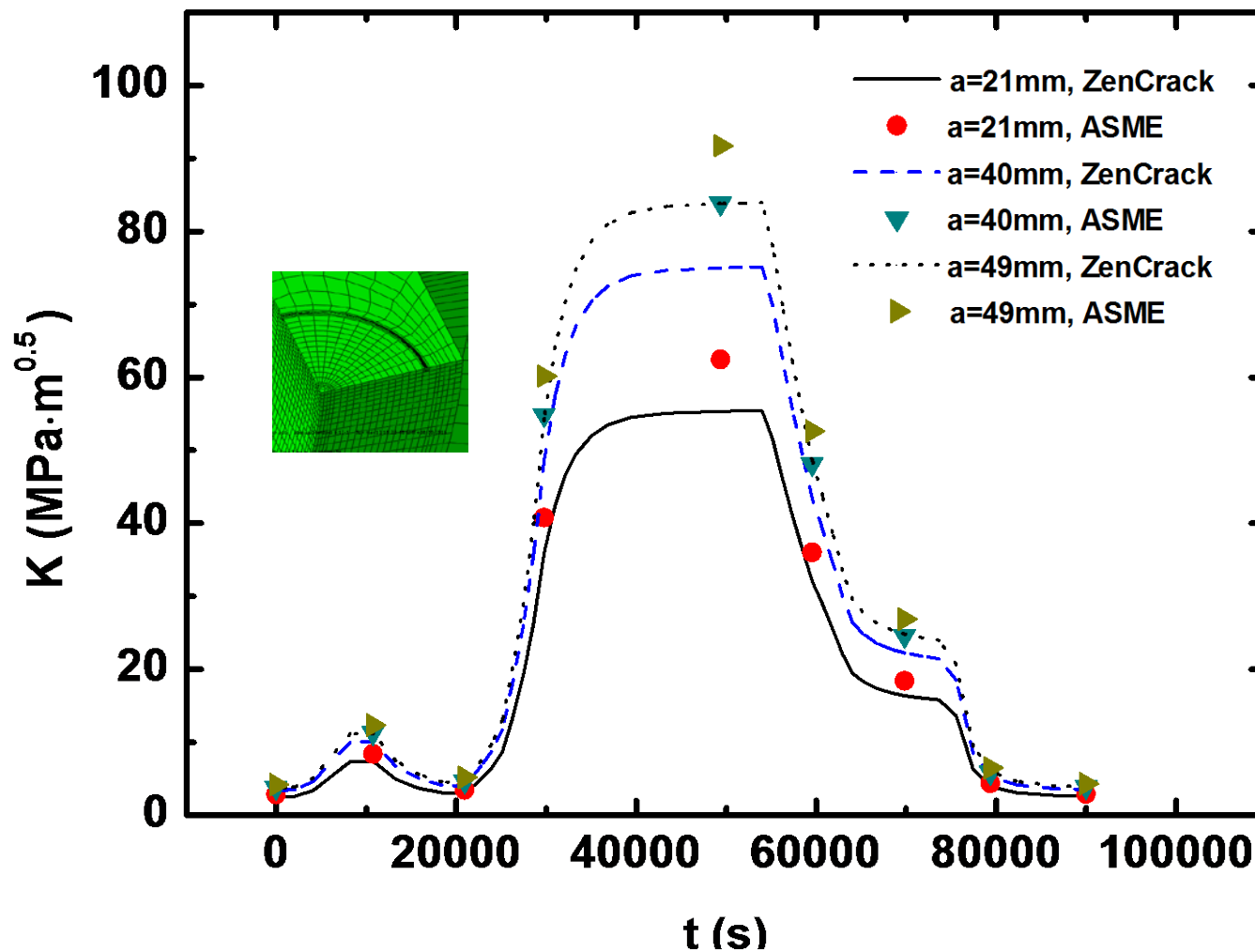
## 圆角接管模型，裂纹偏置于主管



## 直角接管模型



## 凸台接管模型



- ❧ 研究目的
- ❧ 研究方法
- ❧ 有限元模型
- ❧ 计算结果
- ❧ 主要结论

- ❧ 对于圆角的接管模型（裂纹不偏置），基于ZenCrack有限元法和ASME附录G中的方法得到的计算差异较小，有限元解具有较高的计算精度；
- ❧ 对于裂纹偏置的圆角接管模型、直角接管模型和凸台接管模型，基于两种方法的计算差异较大，ASME附录G中的方法更加保守，适用于评估裂纹结构的断裂安全性；
- ❧ 仅对断裂力学参数的分析而言，当不考虑结构凸台时，裂纹尖端应力强度因子偏大，结构偏危险。

谢 谢