

ANSYS



仿真
新时代

2017 ANSYS用户技术大会

中国·烟台

换热器设计中的结构问题和最佳实践

黄志新 博士

安世亚太

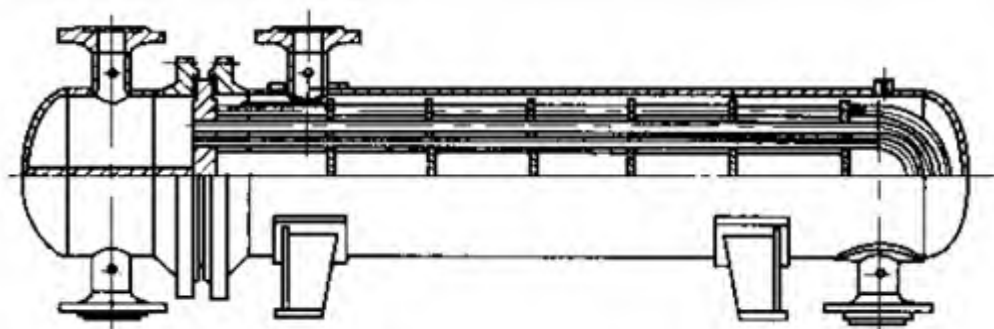
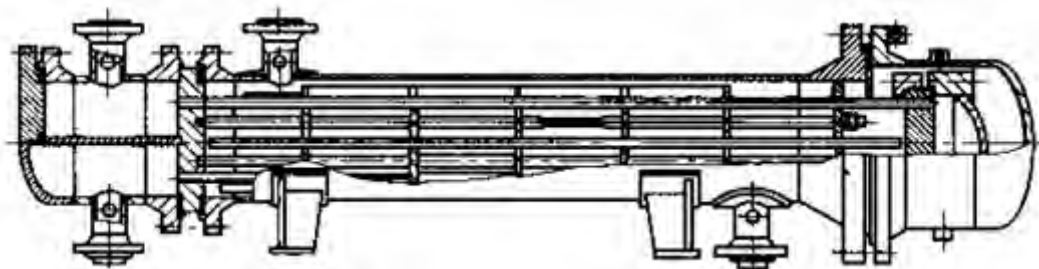
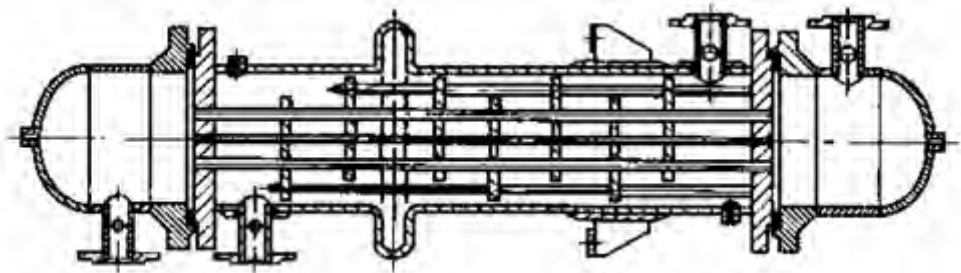
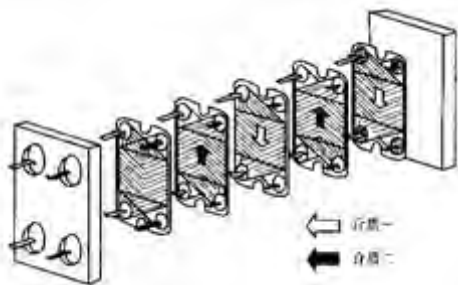
演讲目录

- **换热器设计中的结构仿真需求分析**
- **换热器结构仿真分析的解决方案及关键技术**
- **换热器设计的结构仿真最佳实践**

换热器设计中的结构仿真需求分析

• 换热器的形式多样

- 固定管板式换热器
- 浮头式换热器
- U形管式换热器
- 套管式换热器
- 缠绕管式换热器
- 板式换热器
-



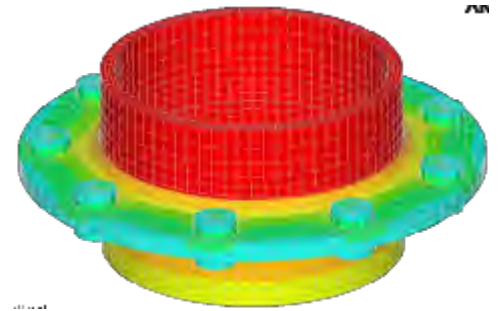
换热器设计中的结构仿真需求分析

• 强度分析需求

- 换热器主承压元件不发生强度失效，不会因强度不足而导致破坏
- 解决方案
 - ✓ 对换热器进行应力分析，按照压力容器标准与换热器标准进行强度校核

• 刚度分析需求

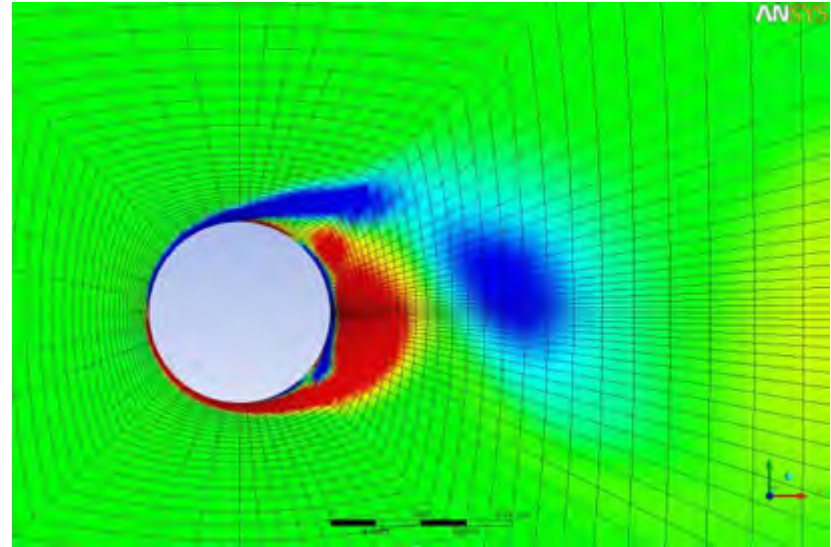
- 换热器关键位置有足够刚度，不发生过量变形失效
- 管板与法兰密封面无过量变形，保证密封效果
- 解决方案
 - ✓ 管板、法兰与螺栓连接系统接触分析，得到密封面接触状态关系



换热器设计中的结构仿真需求分析

• 振动分析需求

- 换热器内流体诱导换热器振动
- 地震载荷导致换热器振动
- 解决方案
 - ✓ 双向、瞬态流-固耦合
 - ✓ 地震载荷时程分析



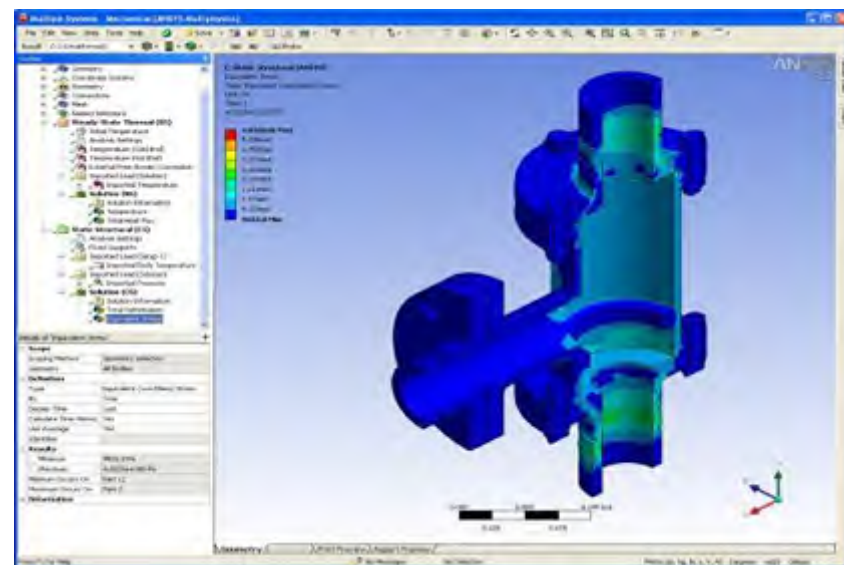
• 热分析需求

- 求解换热器温度场，了解温度分布情况，进而了解温度梯度分布
- 解决方案
 - ✓ 瞬态热分析
 - ✓ 稳态热分析

换热器设计中的结构仿真需求分析

• 热应力分析需求

- 找到温度梯度较大区域，该区域存在较大温差应力，恶化应力场
- 管板热应力问题
- 解决方案
 - ✓ 稳态/瞬态热-结构顺序耦合分析
 - ✓ 利用耦合场单元进行强耦合分析
 - ✓ 对管板热应力进行评定



演讲目录

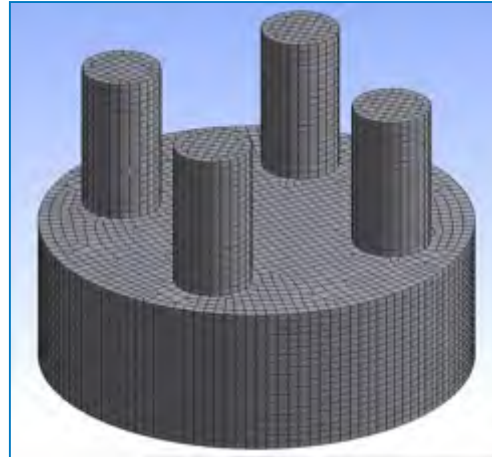
- **换热器设计中的结构仿真需求分析**
- **换热器结构仿真分析的解决方案及关键技术**
- **换热器设计的结构仿真最佳实践**

方便易用且功能强大的网格划分技术

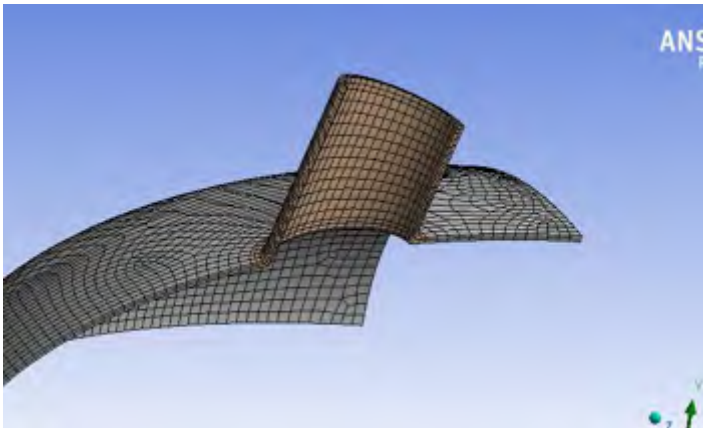
• 体网格划分

◦ 六面体

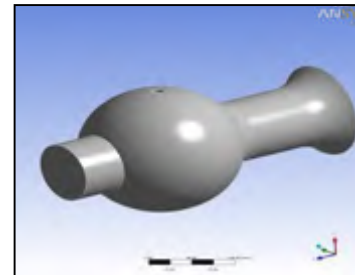
- ✓ All Hex Swept Meshing
- ✓ MultiZone meshing
- ✓ Hex Dominant



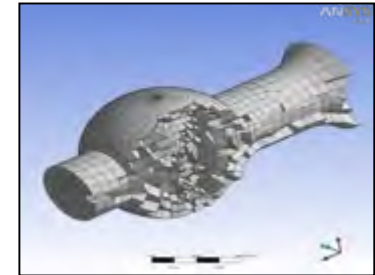
MultiZone Mesh



Sweep Mesh



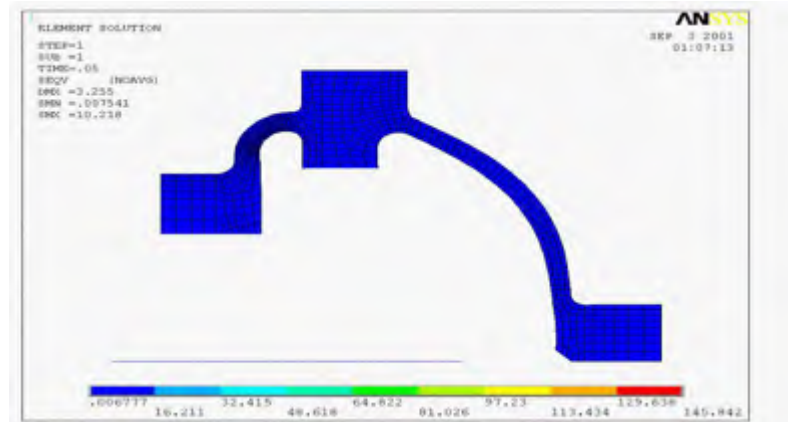
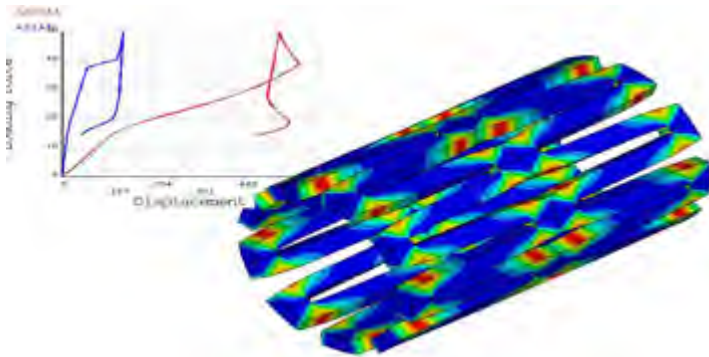
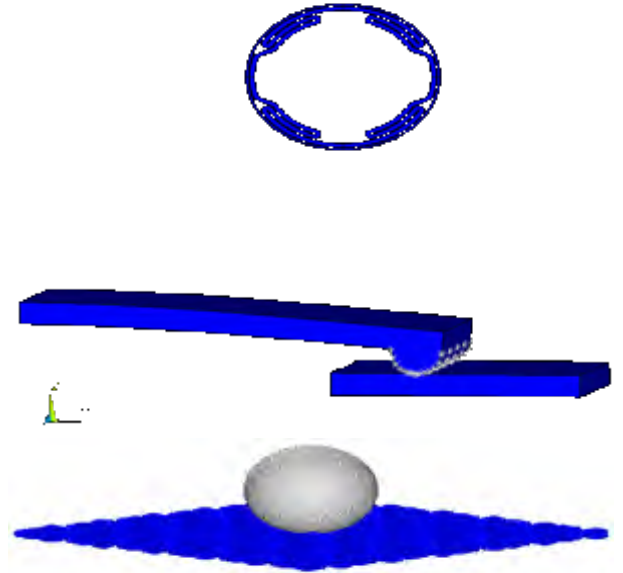
Geometry with valve inside



Hex Dominant Mesh generated

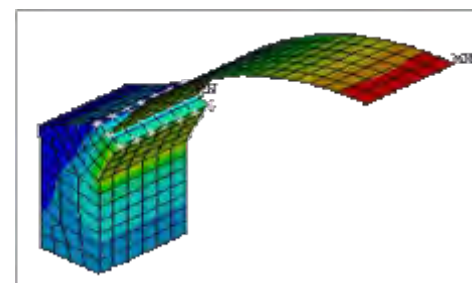
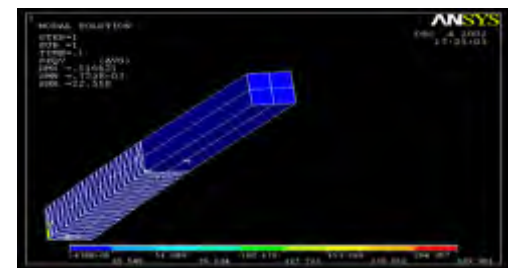
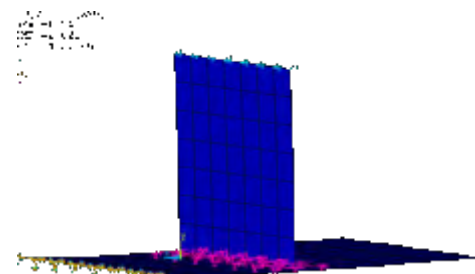
先进的18x非线性单元族

- BEAM188、 BEAM189
- LINK180
- PIPE288、 PIPE289、 ELBOW290
- SHELL181、 SHELL281
- SOLID185、 SOLID186、 SOLID187



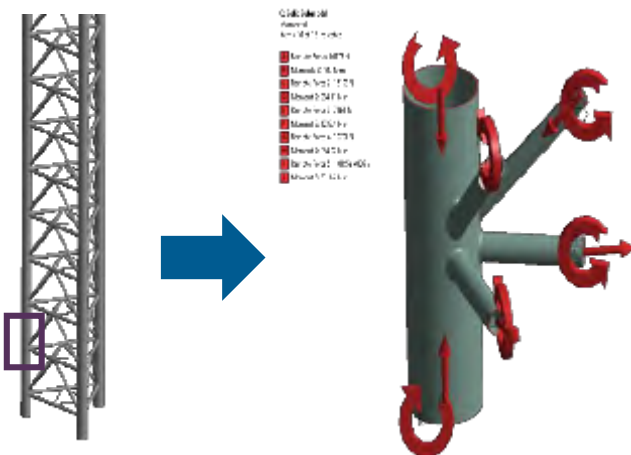
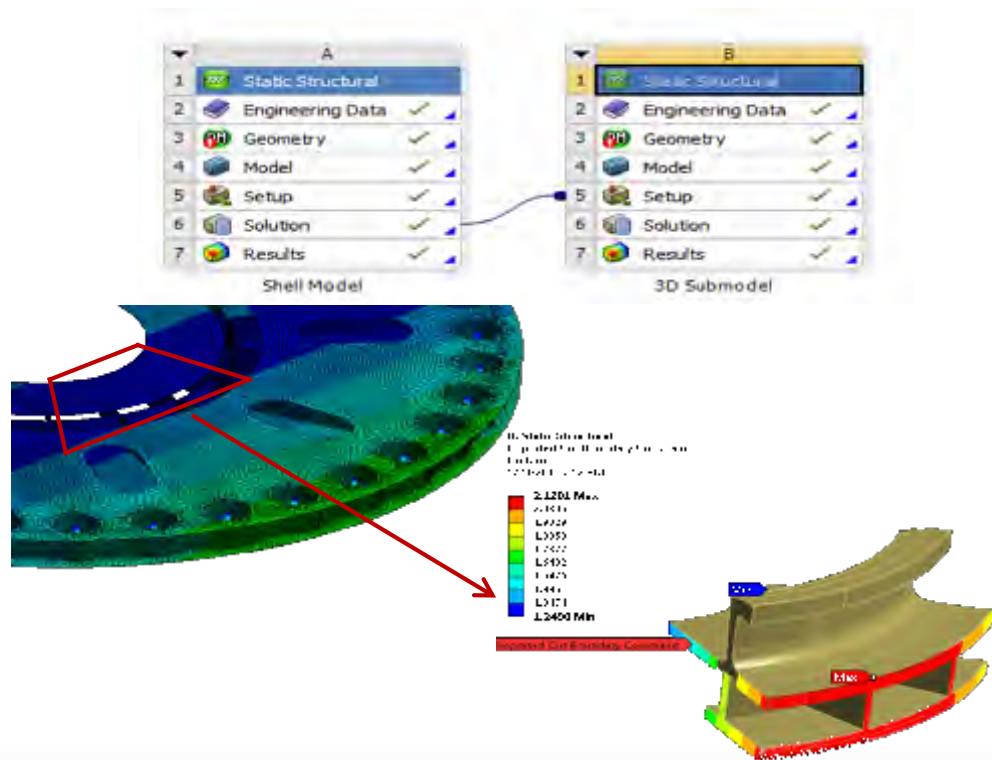
装配体建模 (MPC) 技术

- 非匹配网格区域间的连接
- 自由度不匹配的实体和结构单元间连接
- 运动约束
 - 刚性约束面 (CERIG)
 - 力分布表面 (RBE3)
 - 小变形：线性接触
 - 大变形：MPC方程自动更新
- 支持所有“装配”类型
 - 实体 - 实体、实体 - 壳、壳 - 壳、梁 - 实体、梁 - 壳



子模型技术

- 可以用于应力分析和热分析，在Workbench中轻松实现
- 用于计算采用面和梁模型无法捕捉的局部详细结果
- 支持SHELL到SOLID以及BEAM到SOLID



梁整体受力分析到板壳（实体）局部分析的子模型技术

功能全面的求解技术

• 结构力学分析

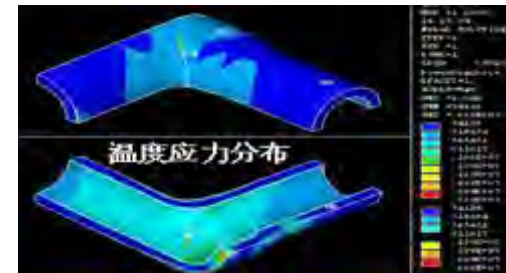
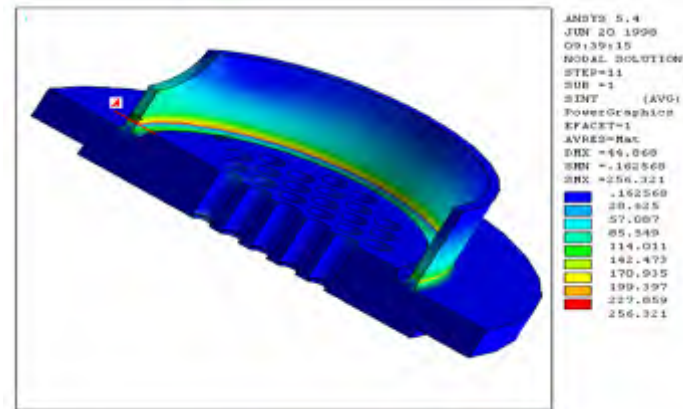
- 静力/动力
- 线性/非线性

• 热分析

- 传导/对流/辐射/相变
- 稳态/瞬态

• 耦合场分析

- 热 - 结构
- 直接耦合
- 间接耦合
-

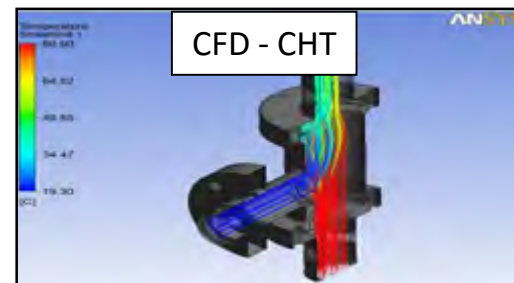


热 - 结构直接耦合分析模拟焊接过程温度分布、应力分布及残余应力分布

多物理场耦合技术

• Two-way 结构热耦合

- 假定: 结构变形对温度分布无影响
- CFD中标准共轭换热模拟
- 稳态、瞬态均易于实现
- 亦可通过Mechanical与CFD耦合实现，但单求解器计算更简单高效

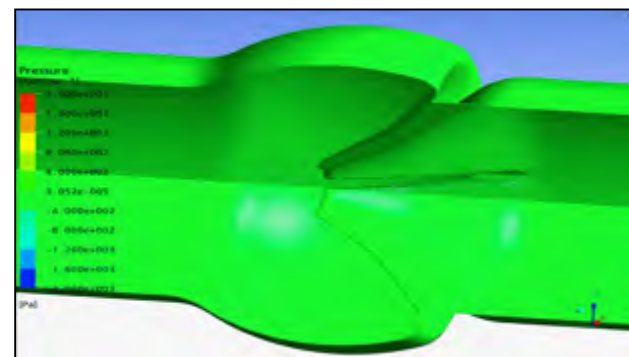


• Two-way 流体结构耦合

- 两求解器同时求解, 交换力与位移
- 在Workbench下自动实现

• Two-way 流体、热与结构同时耦合

- 两求解器同时求解, 交换温度、热流、力与位移
- 在Mechanical中需要耦合场单元



演讲目录

- **换热器设计中的结构仿真需求分析**
- **换热器结构仿真分析的解决方案及关键技术**
- **换热器设计的结构仿真最佳实践**

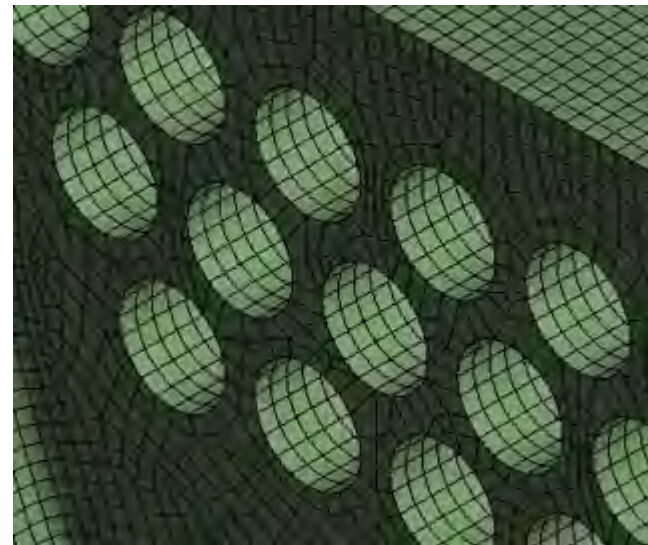
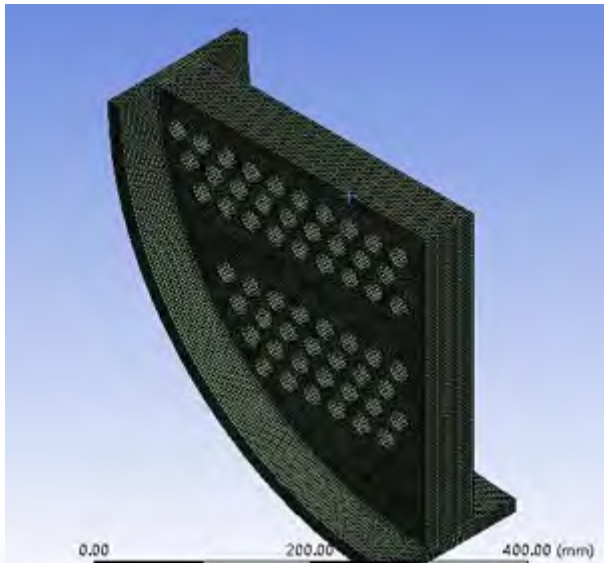
管板全六面体结构网格划分技术

- 管板网格划分技术

- 管板上换热管孔数量多，几何模型高度不连续，网格划分难度较大

- 解决方案

- 应用Workbench界面MultiZone技术
- 结合整体网格尺寸控制，对管板结构快速、直接划分全六面体结构网格



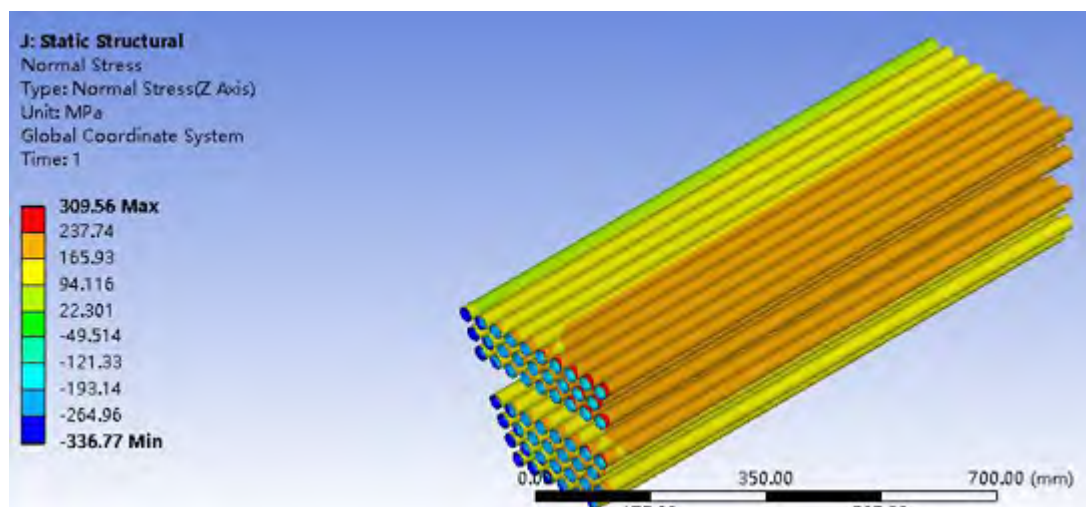
固定管板换热器的管板与换热管拉脱力计算

• 管板与换热管拉脱力计算

- 按照压力容器分析设计标准与换热器标准，需要校核固定管板换热器的换热管与管板连接处管子拉脱力

• 解决方案

- 通过对换热器结构整体进行强度分析，得到换热管上轴向力，按照相关标准求解拉脱力



固定管板换热器热机械应力计算

• 管板计算——热应力及应力评定

- 对于固定管板换热器，其厚管板锻件必然承受较大温差热应力
- 热应力场需与机械应力场进行叠加组合

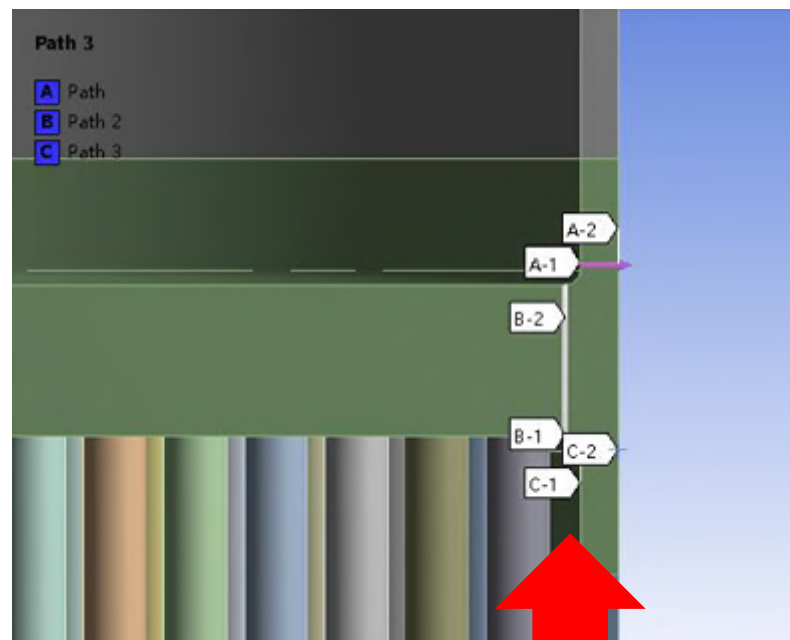
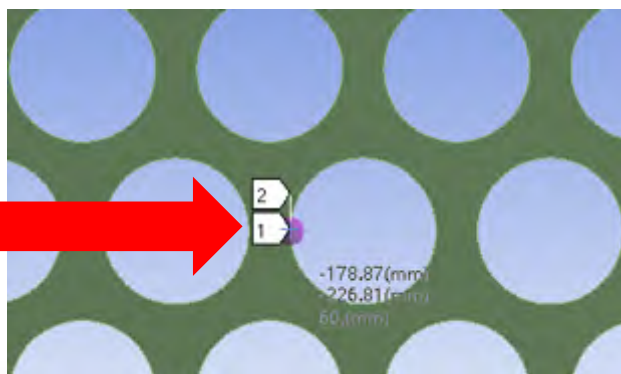
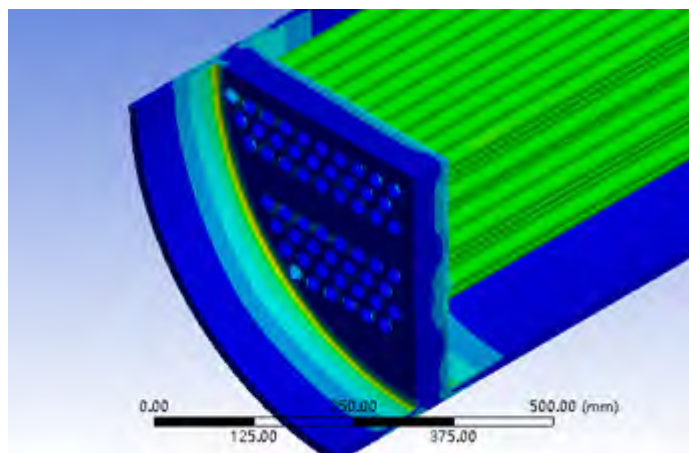
• 解决方案

- Workbench界面先进的工况组合管理功能
- 瞬态/稳态热-结构顺序耦合分析



固定管板换热器热机械应力计算

- 管板计算——热应力及应力评定



校核路径线的设置

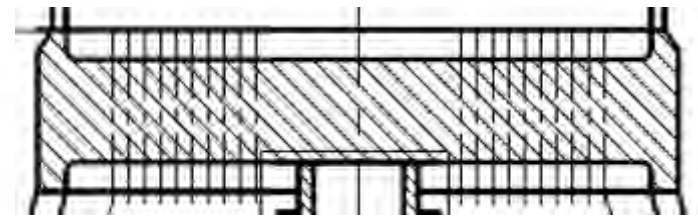
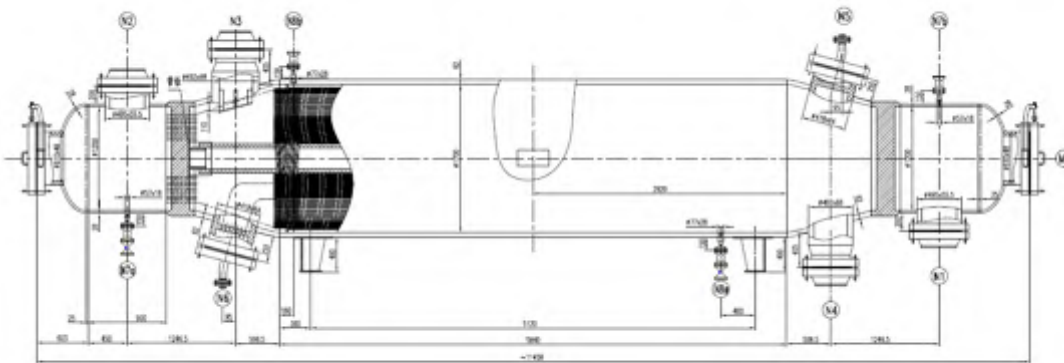
绕管式换热器分析设计

• 绕管式换热器分析设计

- 绕管式换热器无单独设计标准，螺旋绕管对于管板有支撑作用，介于固定管板式换热器与U型管换热器之间，借助ANSYS软件实现分析设计

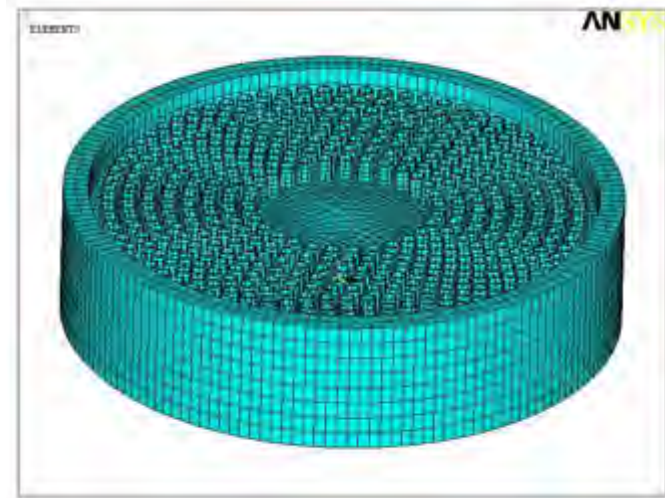
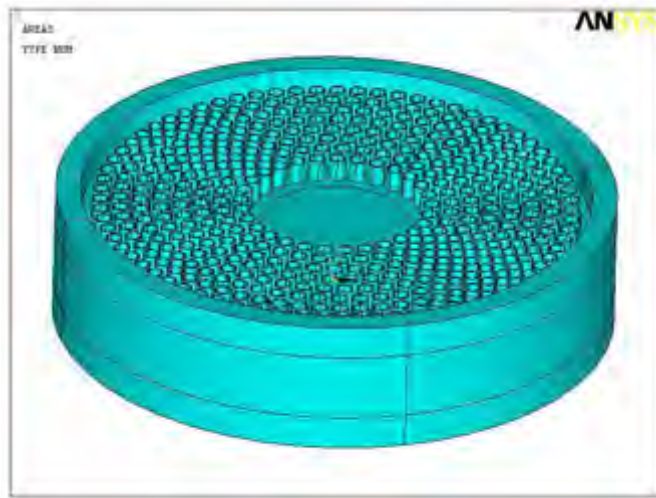
• 解决方案

- 不同单元之间采用MPC连接技术，简化计算量
- 实体单元与梁单元连接，实体单元与壳单元连接



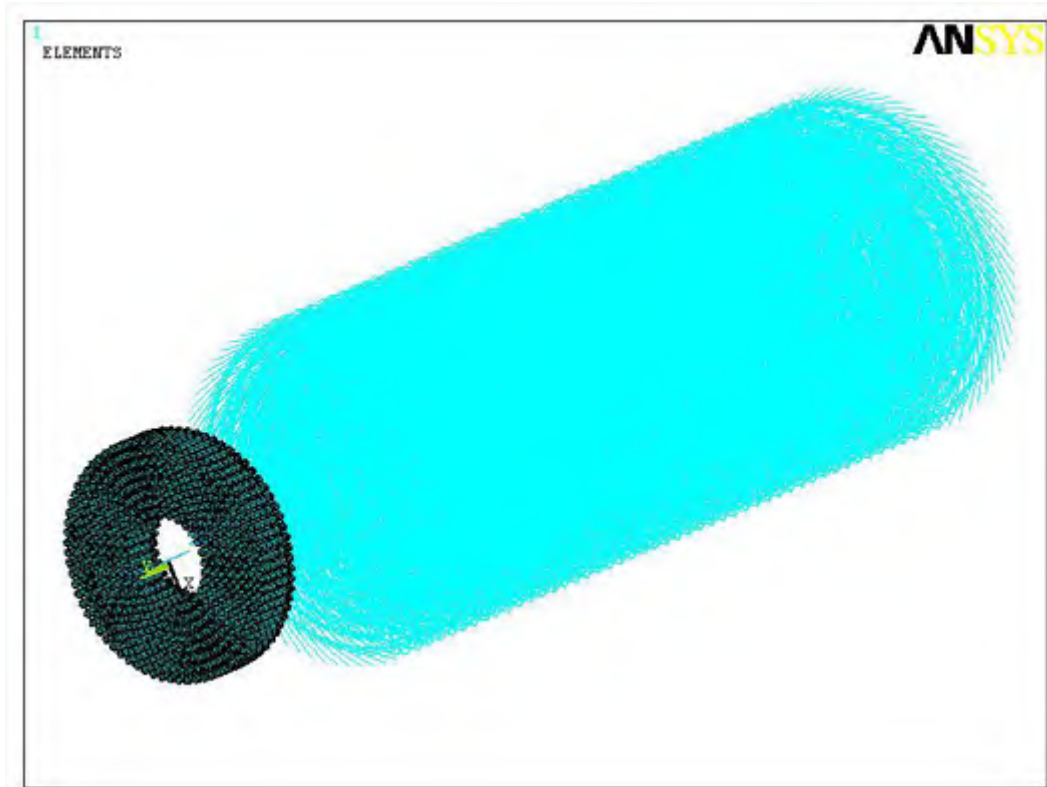
绕管式换热器分析设计

- 工字形管板全六面体网格划分
 - 工字形管板全实体建模与全六面体扫略网格划分



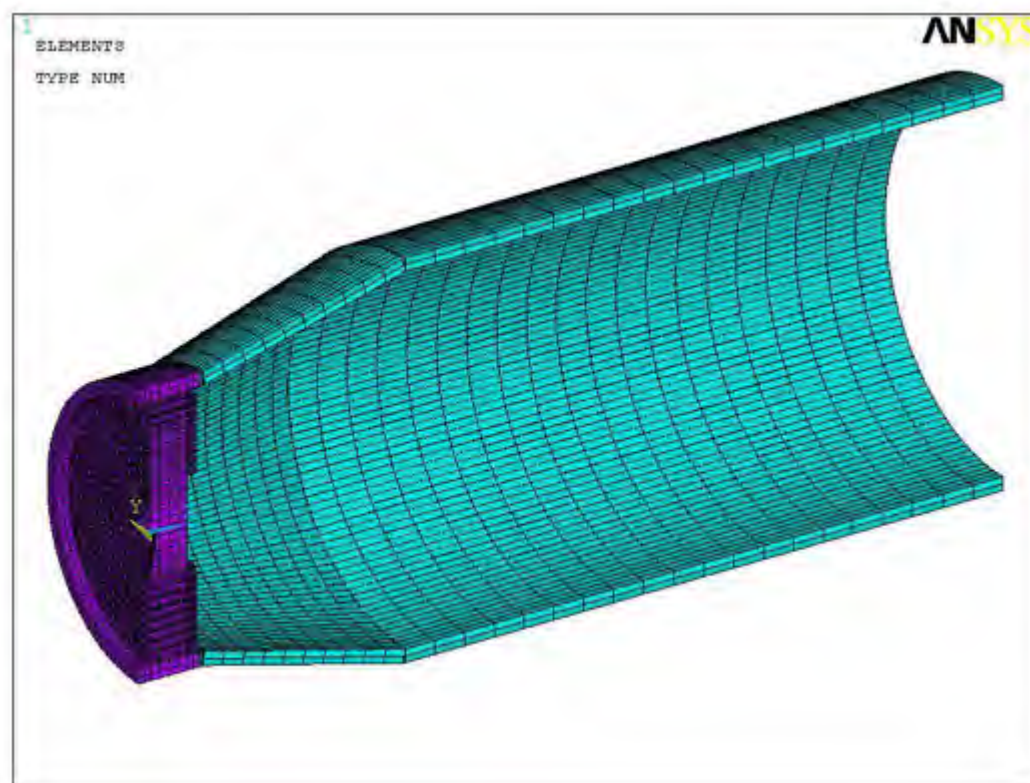
绕管式换热器分析设计

- **实体单元与梁单元结合的网格对管束进行有限元建模**
 - MPC技术实现连接梁单元与实体单元
 - 降低网格数量
 - 协调不同单元自由度



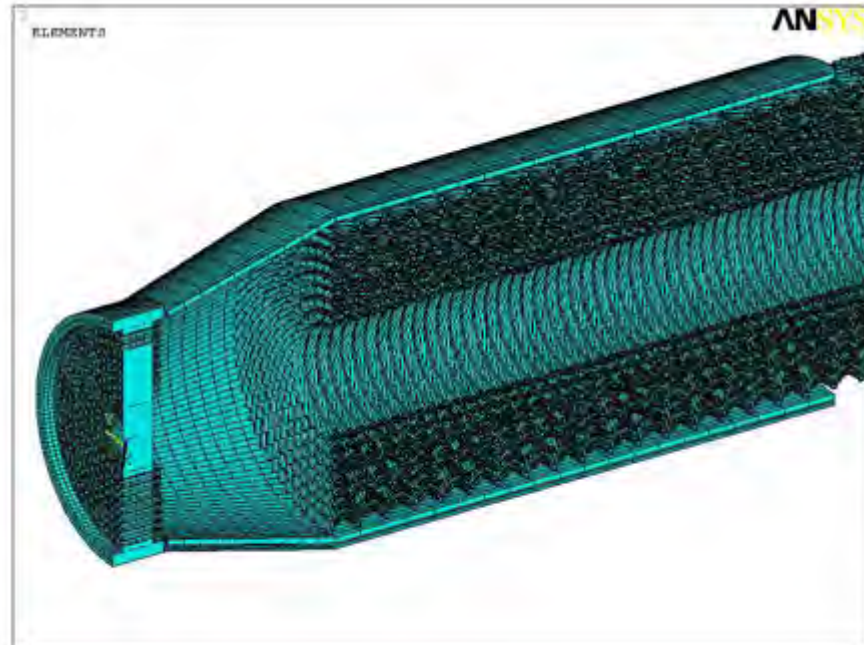
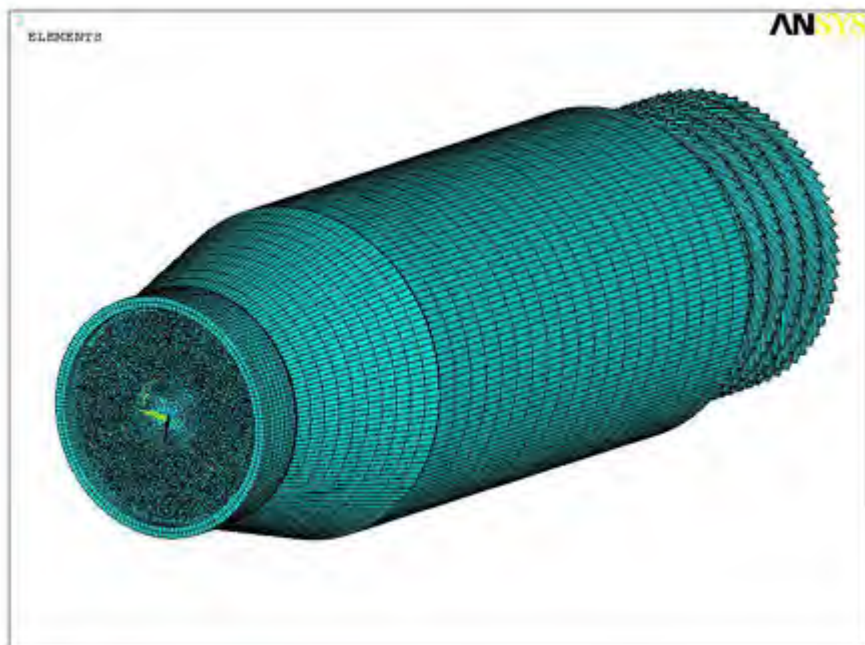
绕管式换热器分析设计

- 壳体采用壳单元进行建模
 - MPC技术连接壳单元与实体单元
 - 降低网格数量
 - 协调不同单元自由度



绕管式换热器分析设计

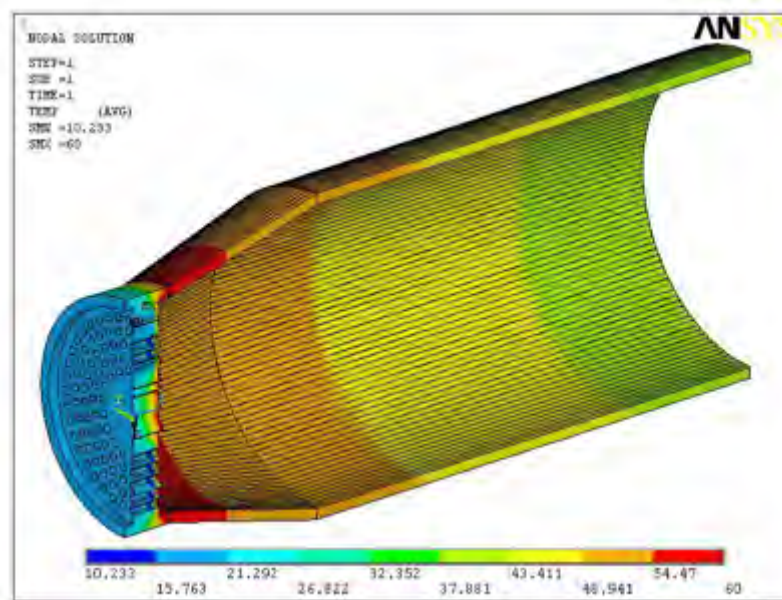
- 管板、壳体与换热管模型整体装配
 - MPC连接技术装配模型，实现实体单元、壳单元、梁单元的连接。



绕管式换热器分析设计

• 载荷条件

- 进行管板热分析，按管程、壳程温度边界条件计算而得到各处温度分布；

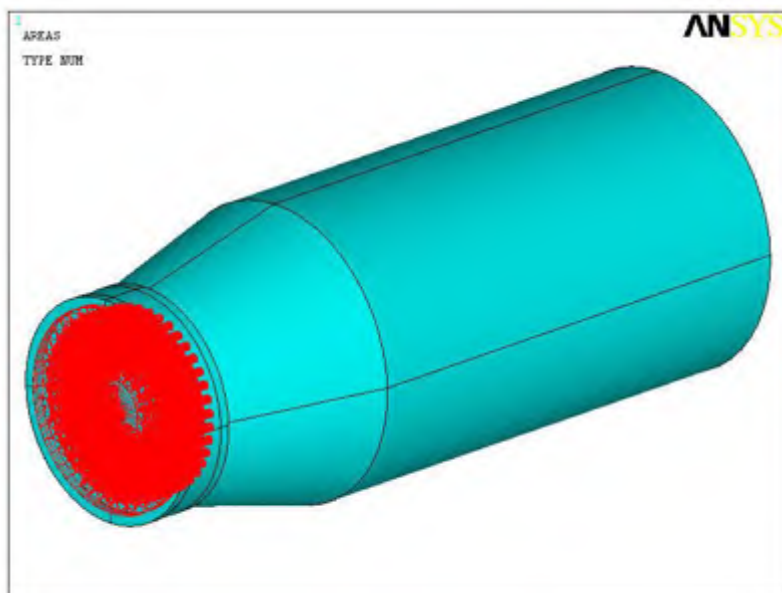


温度分布

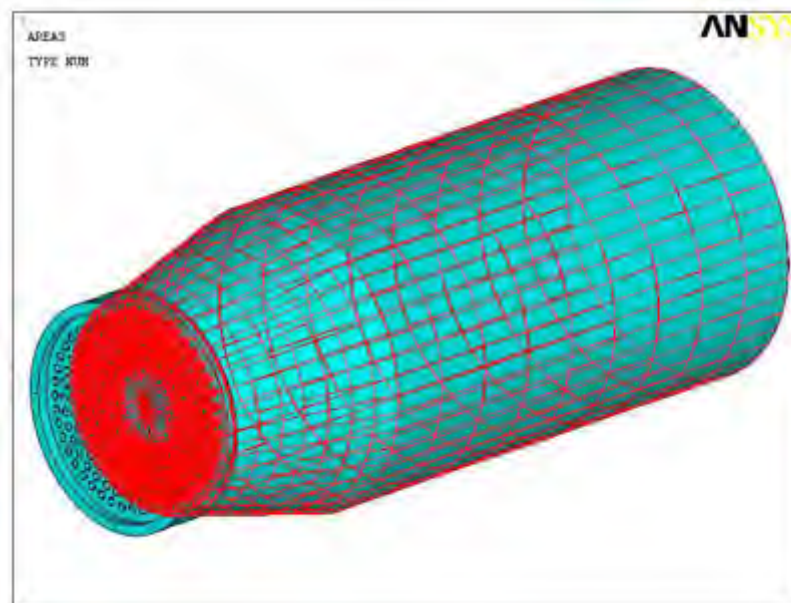
绕管式换热器分析设计

• 载荷条件

- 考虑管程压力、壳程压力以及温度载荷
- 对管箱侧筒壁施加等效拉力载荷



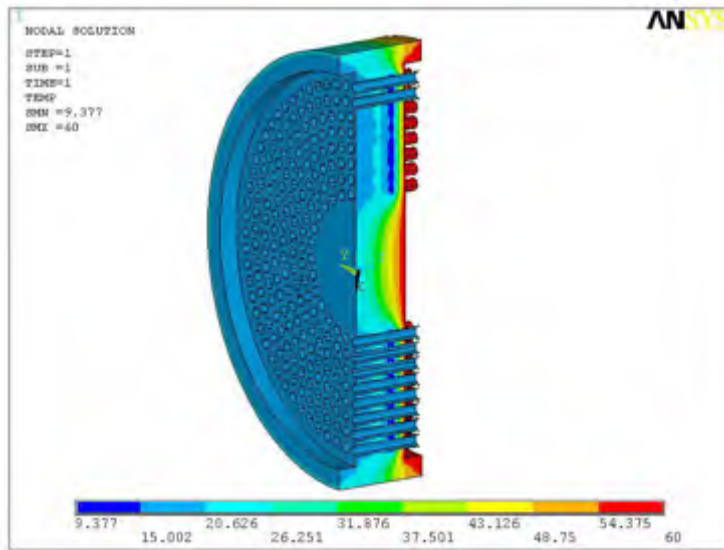
管程压力载荷



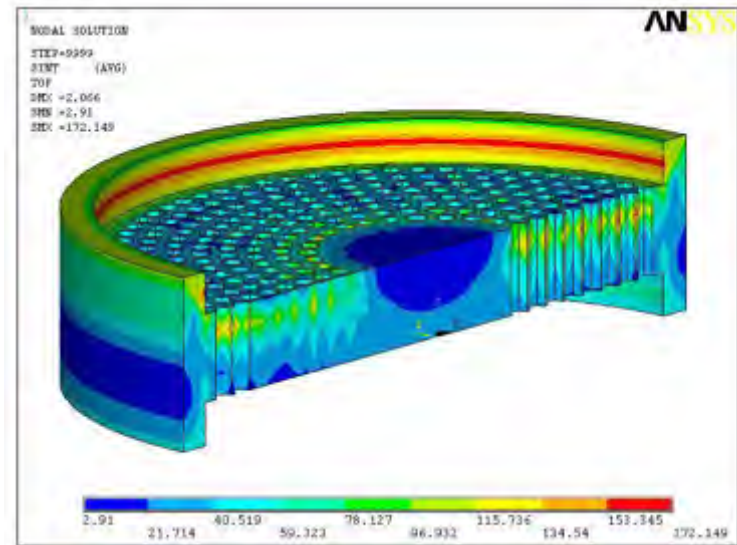
壳程压力载荷

绕管式换热器分析设计

- 管板热应力计算



管板温度场



管板热应力

全焊接板式换热器极限载荷分析

- **全焊接板式换热器极限载荷分析**

- 板式换热器结构紧凑，换热效率高，但现行标准中并无相关设计方法
- 大型板片（压紧板与波纹换热板等）结构几何不连续，采用分析设计标准后，应力分类难度较大

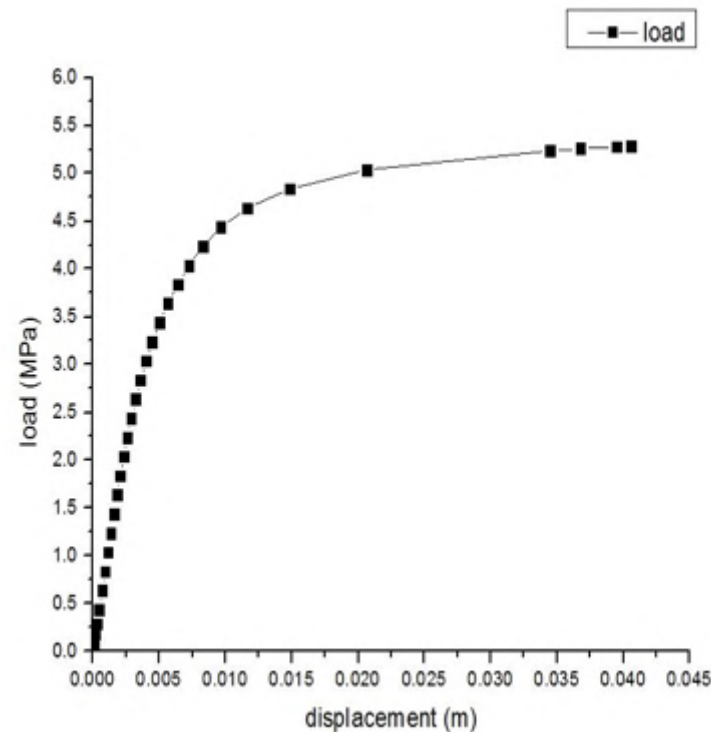
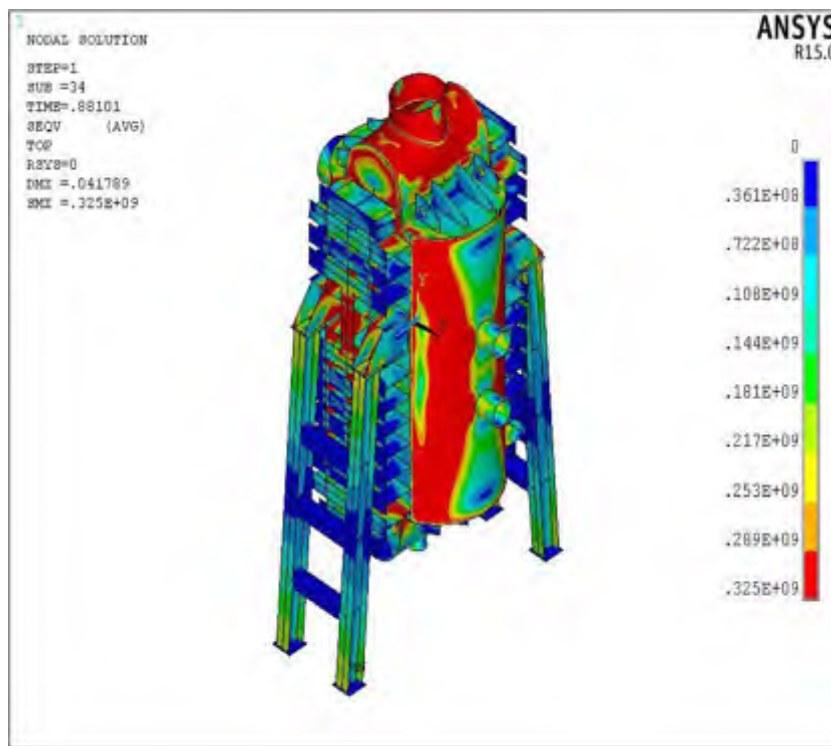
- **解决方案**

- 极限载荷设计法，以替代对于结构一次应力的校核

全焊接板式换热器极限载荷分析

• 全焊接板式换热器极限载荷分析

- 极限载荷分析校核板式换热器结构的一次应力



合成塔球冠管板应力分析

- **合成塔球冠管板应力分析**

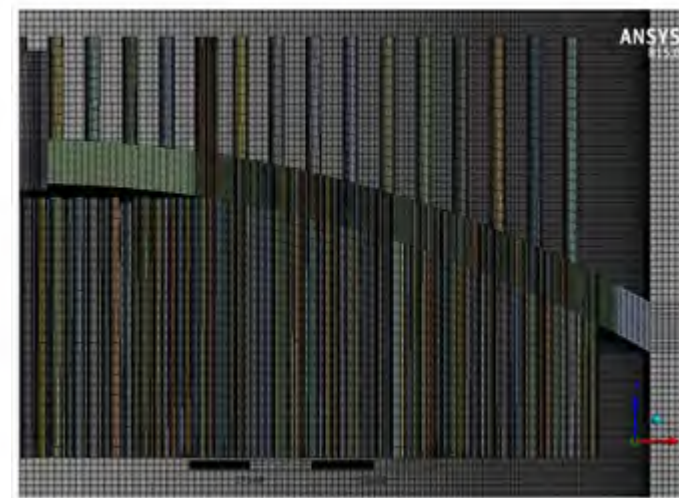
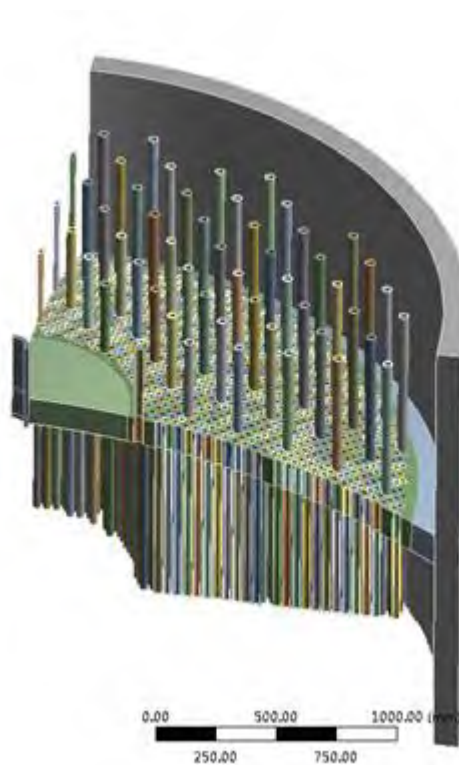
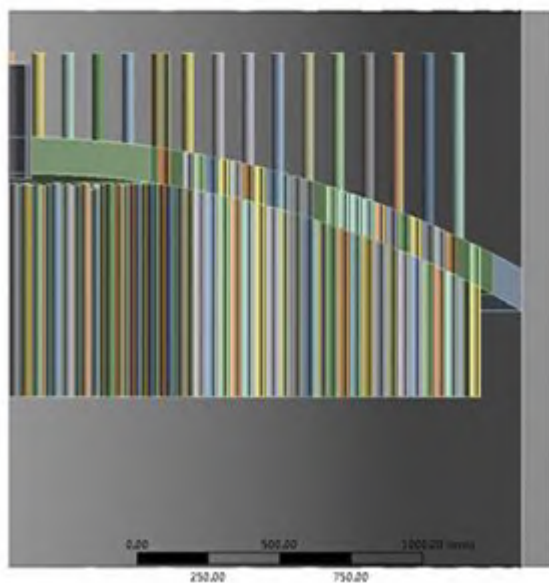
- 相比较与水平管板，球冠型管板形状更为复杂，分析难度更大
- 较之固定管板换热器，合成塔球冠型管板上布管也更为复杂

- **解决方案**

- 应用Workbench界面处理复杂几何模型
- 进行规则的网格划分
- 多种工况校核

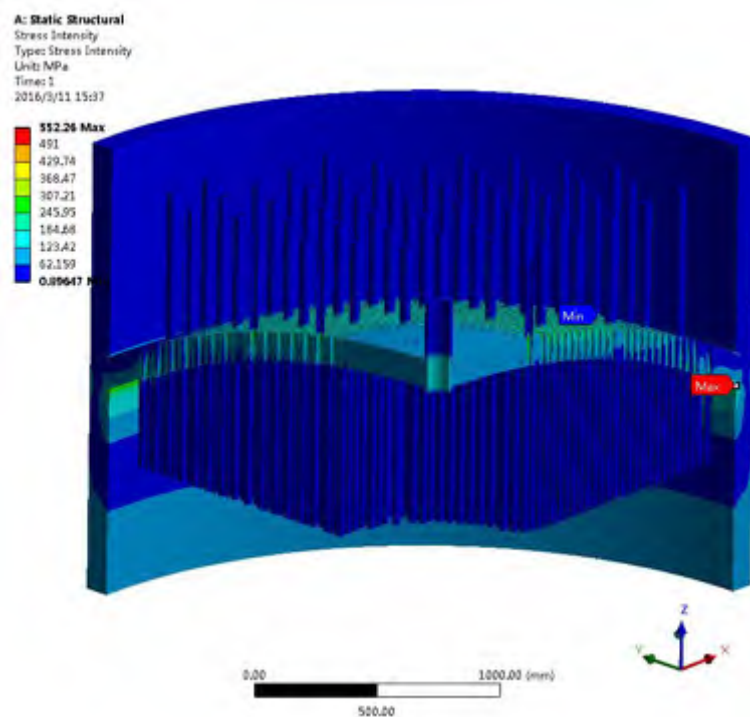
合成塔球冠管板应力分析

- 合成塔球冠管板的几何模型与网格模型

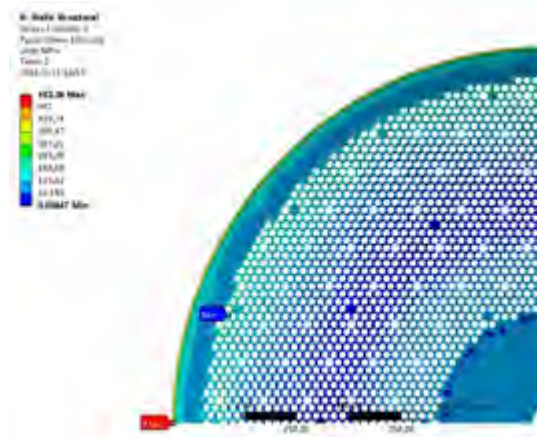


合成塔球冠管板应力分析

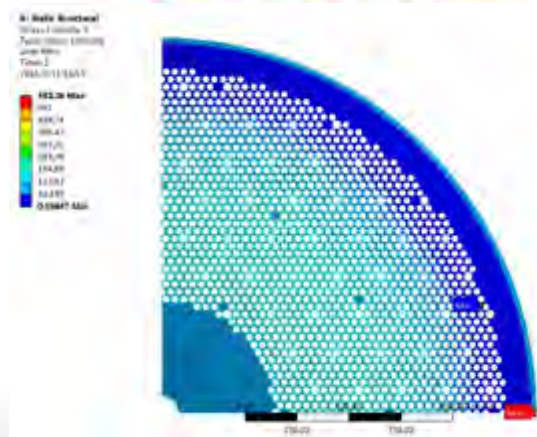
• 合成塔球冠管板应力分析结果



球冠管板整体应力强度



壳程侧应力强度



管程侧应力强度

蒸汽冷却器应力分析与管板轻量化设计

- **蒸汽冷却器应力分析与管板轻量化设计**

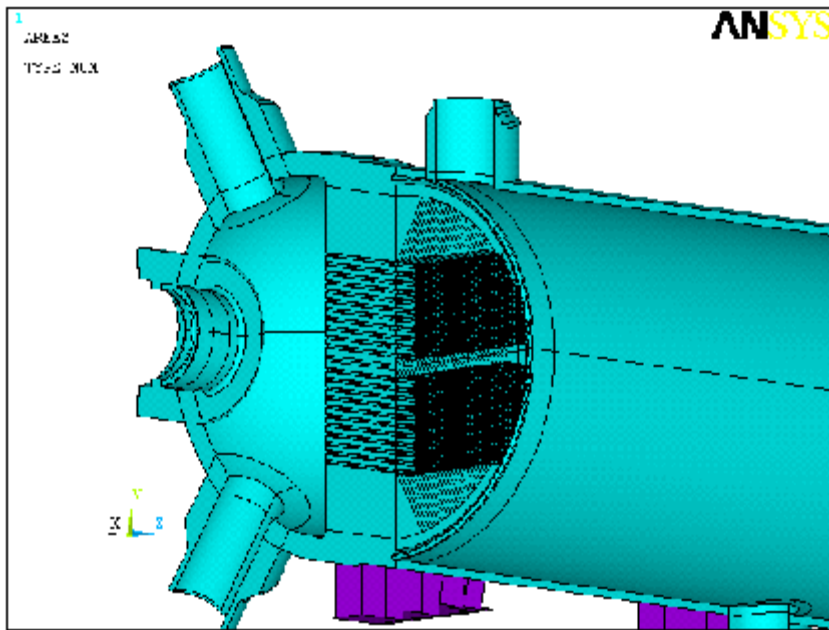
- 蒸汽冷却器为高压换热器，管板锻件厚度较厚，加工制造成本较高
- 由于管板较厚，即使使用U型管结构，管板热应力仍然明显

- **解决方案**

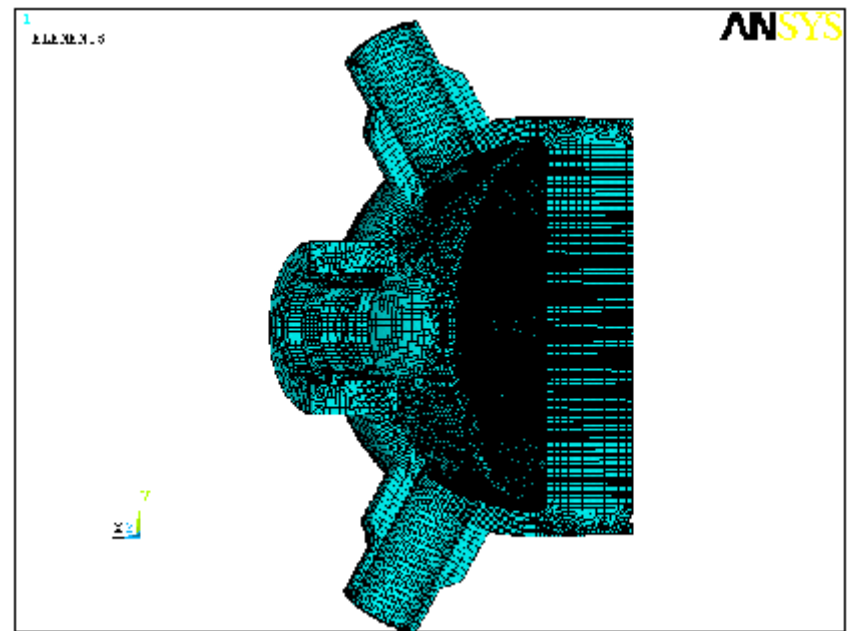
- 应用ANSYS经典界面，对蒸汽冷却器进行全参数化建模，以管板厚度为优化变量，对其进行参数优化，实现轻量化设计

蒸汽冷却器应力分析与管板轻量化设计

- 蒸汽冷却器几何模型和有限元网格模型



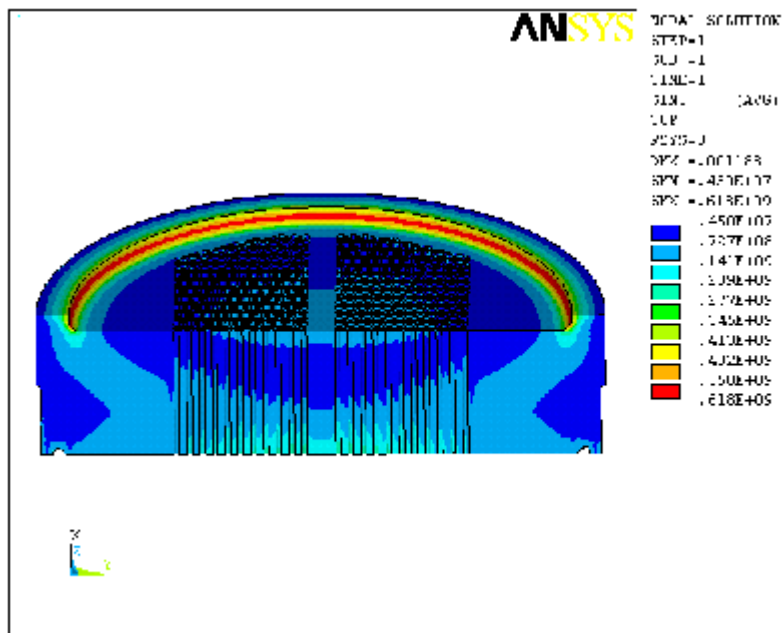
冷却器几何模型



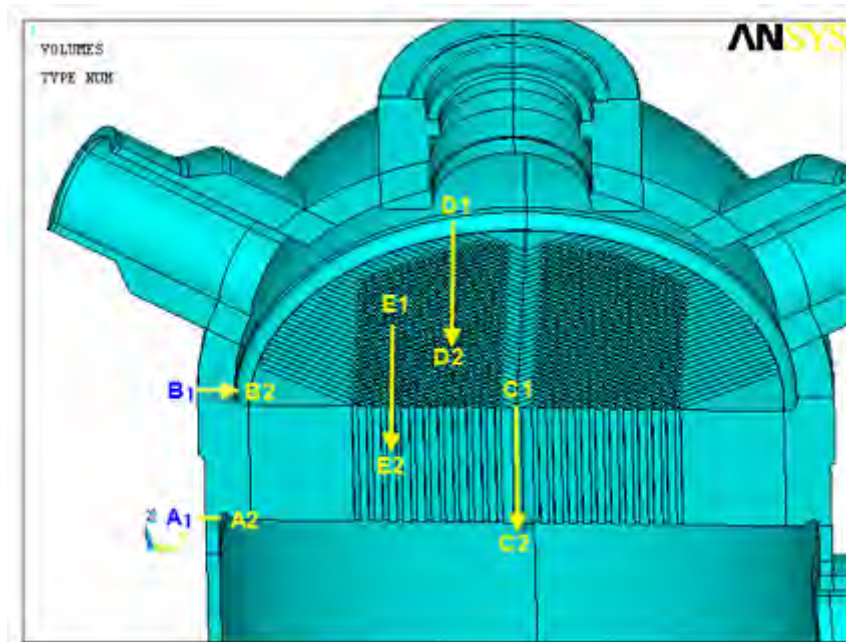
冷却器有限元网格模型

蒸汽冷却器应力分析与管板轻量化设计

- 蒸汽冷却器管板应力强度及路径校核



管程压力作用管板应力强度

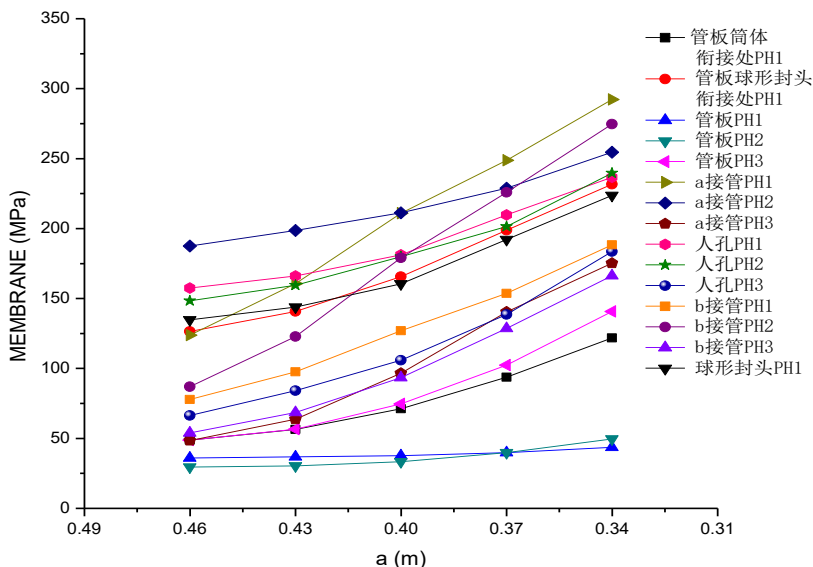


管板校核路径线设置

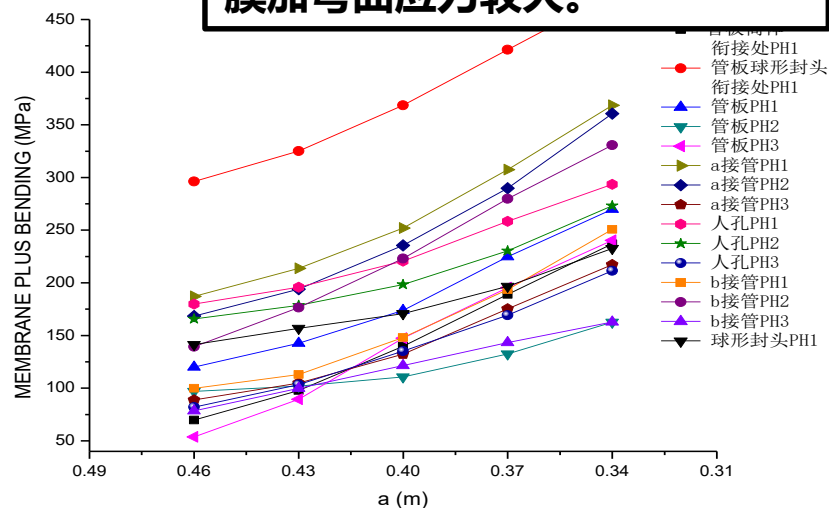
蒸汽冷却器应力分析与管板轻量化设计

- 常规设计下换热器管板厚度为460mm
- 在满足强度条件下，减少管板厚度，找到满足强度条件下换热器管板厚度的最小值，从而减轻换热器重量，降低成本。

结论：管板与筒体连接处的薄膜加弯曲应力较大。



各路径处薄膜应力随管板厚度的变化



各路径处膜加弯应力随管板厚度的变化

冷凝器时程地震分析

- **冷凝器时程地震分析**

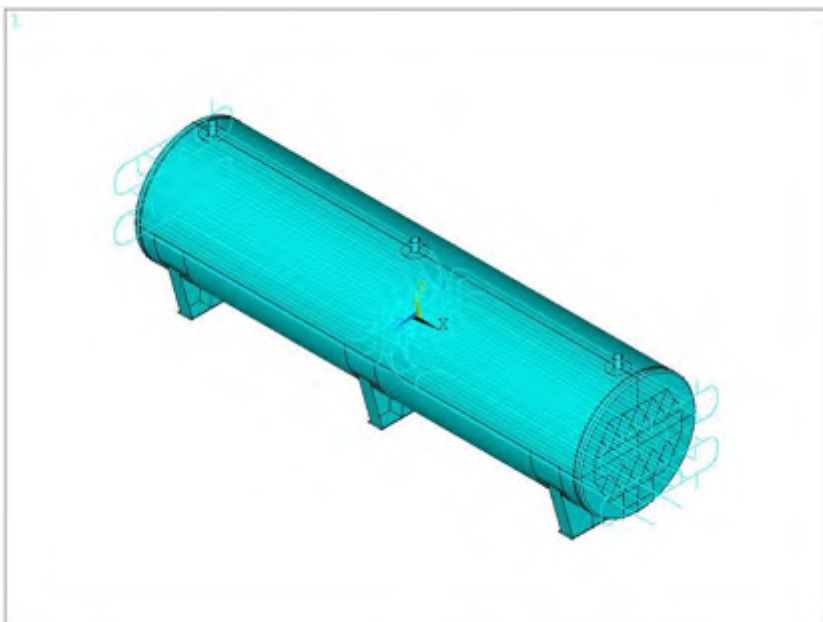
- 冷凝器设备处于特殊工作环境，需要进行全时程地震分析
- 应用RCC-M标准，即法国《压水堆核岛机械设备设计和建造规则》进行强度评定

- **解决方案**

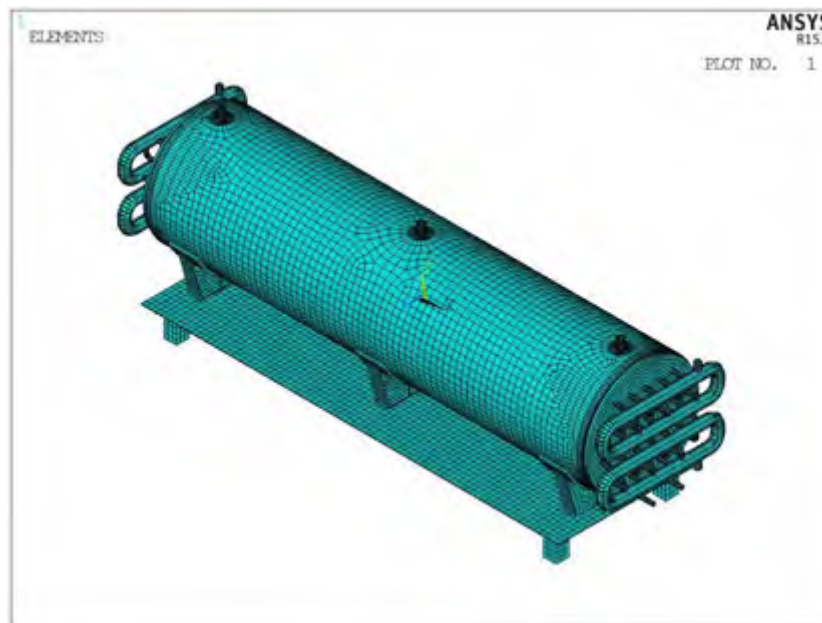
- 应用ANSYS经典界面，对冷凝器进行全完全瞬态地震响应分析

冷凝器时程地震分析

- 冷凝器几何模型和网格模型



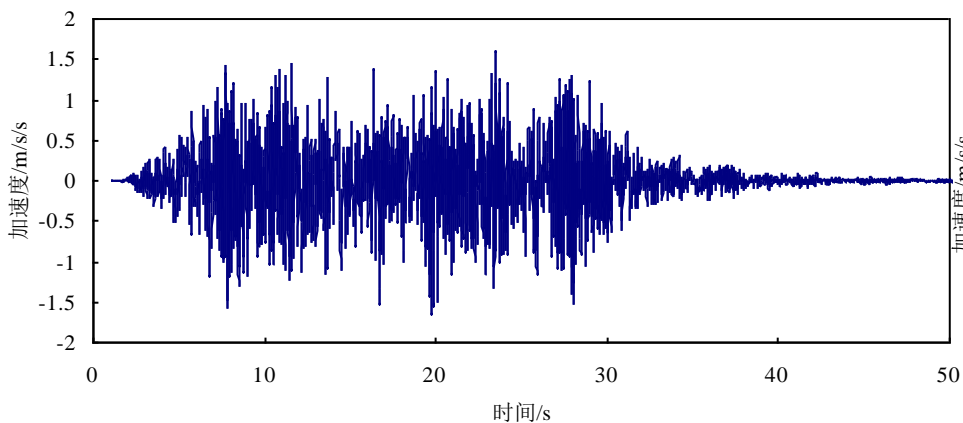
冷凝器几何模型



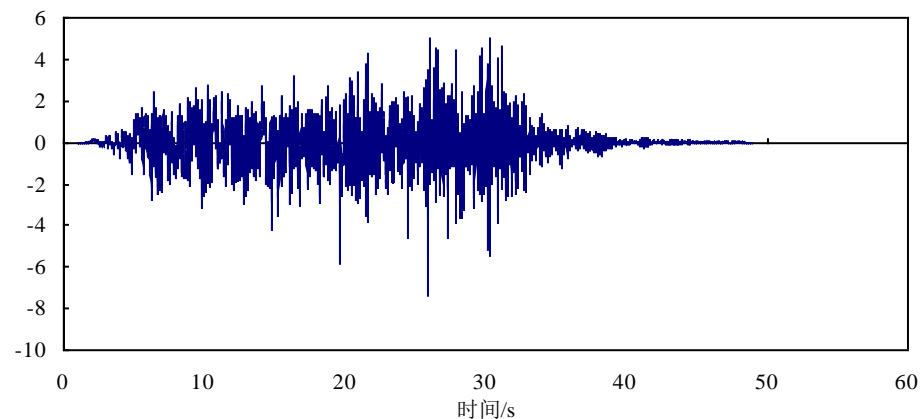
冷凝器有限元网格模型

冷凝器时程地震分析

- 冷凝器的加速度时程曲线



OBE地震水平方向的加速度时程曲线

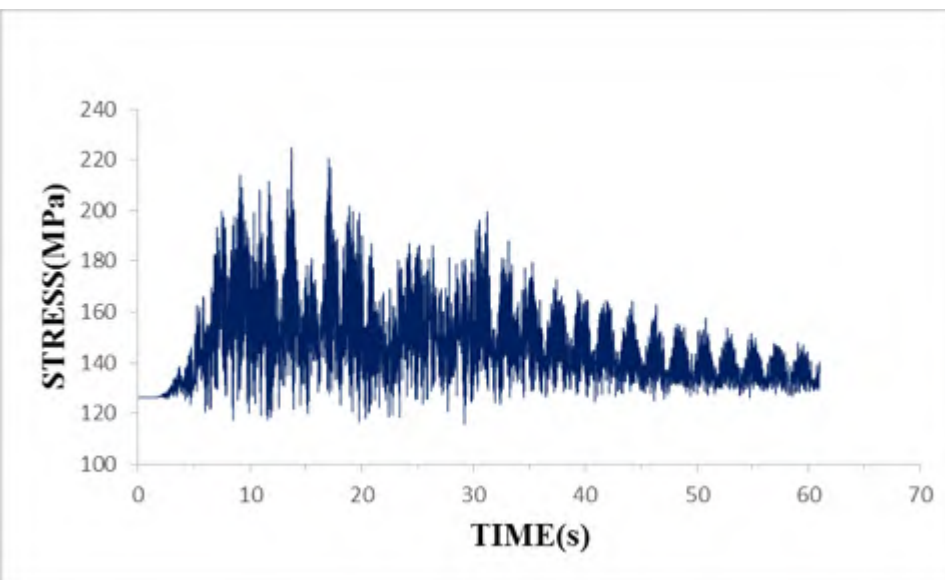


OBE地震垂直方向的加速度时程曲线

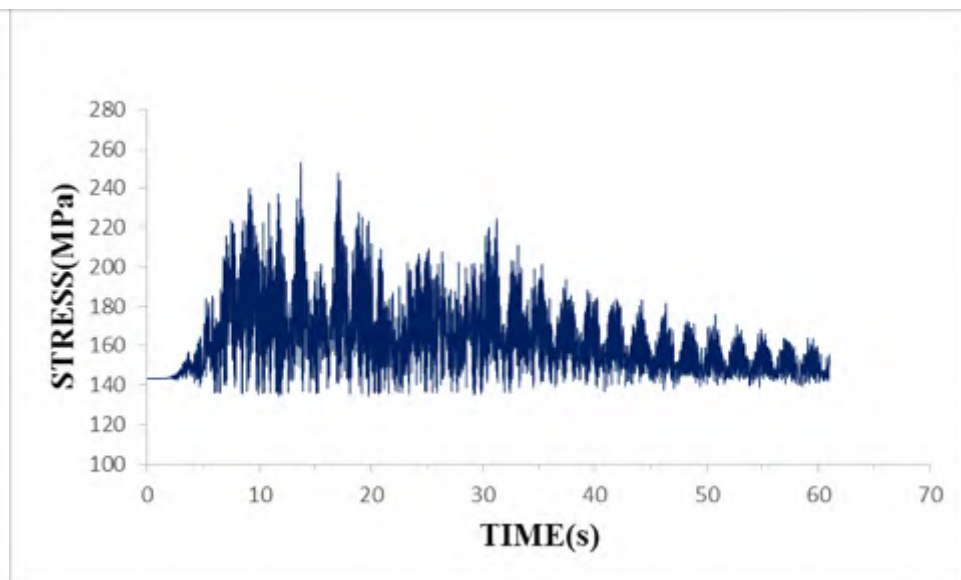
冷凝器时程地震分析

• 冷凝器时程地震分析的应力强度结果

- 异常工况下受SL-1/OBE地震载荷的有限元时程分析结果



一次薄膜应力强度响应曲线



一次膜加弯应力强度响应曲线

总结

•换热器设计中的结构仿真需求分析

- 强度分析，刚度分析，振动分析，热分析，热应力等

•换热器结构仿真分析的解决方案及关键技术

- 网格划分，18X非线性单元族，装配体建模（MPC）技术

- 子模型技术，功能全面的求解技术，多物理场耦合技术等

•换热器设计的结构仿真最佳实践

ANSYS



仿真
新时代

2017 ANSYS用户技术大会

中国·烟台

感谢聆听



ANSYS-China