

反应堆堆芯复杂流道建模仿真应用

挑战

堆芯复杂流道内流体流动换热特征的仿真分析是反应堆安全分析的重要一环。目前反应堆系统的系统级建模仿真通常采用一维单通道模型对堆芯流道进行模拟，单通道模型只能模拟流体在一维方向上的流动换热，无法准确模拟堆芯复杂流道。要解决这个问题，需采用子通道分析模型替代单通道模型，并实现与一维系统模型的统一建模求解，从而实现在系统级分析的同时获得准确的堆芯流动换热仿真结果的目的。为满足上述需求，需开发子通道建模软件和热工水力统一建模平台，目前挑战在于：

- 目前商用子通道软件可视化、结构化程度较低，参数或模型的修改存在极大不便，软件应用性、交互性设计较差；
- 子通道模型考虑了并联通道间的横向流动，其守恒方程组的形式与一维热工水力系统模型存在较大差异，模型融合困难。

方案

基于Modelica语言标准和子通道建模方法理论，开发子通道分析软件，解决方案如下：

- 构建子通道分析工具，实现软件操作可视化、模型构建结构化；
- 构建一维热工水力建模方法与子通道分析建模方法的统一求解框架；
- 将子通道分析工具与通用热工水力系统仿真平台相融合，形成可实现一维热工水力分析模型与子通道分析模型耦合计算功能的统一仿真平台。

价值

- 开发了子通道分析软件，实现了软件操作可视化、模型构建结构化，支持堆芯流道模型的快速构建；
- 实现了一维热工水力模型与子通道分析模型的统一建模，满足了用户在系统特性分析的同时获得较为准确的堆芯流动换热特性的需求。

成果展示

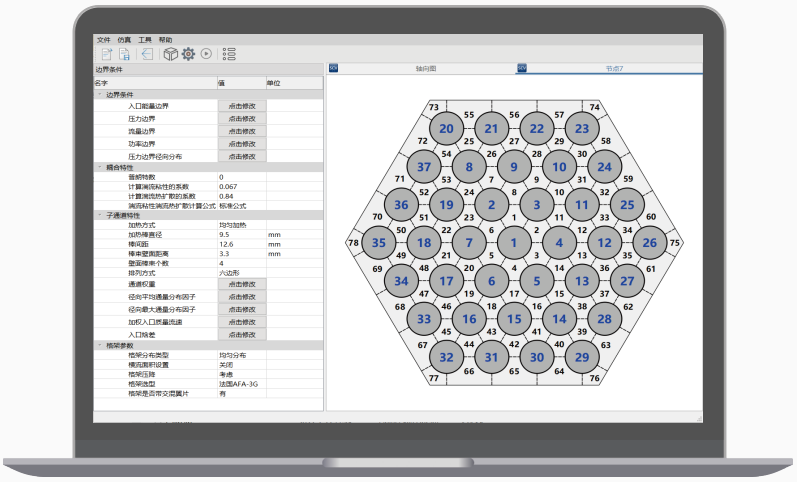
本项目主要成果为：

- 一套堆芯组件子通道分析软件；
- 一套面向复杂热工水力系统的统一建模仿真平台；

堆芯组件子通道分析软件

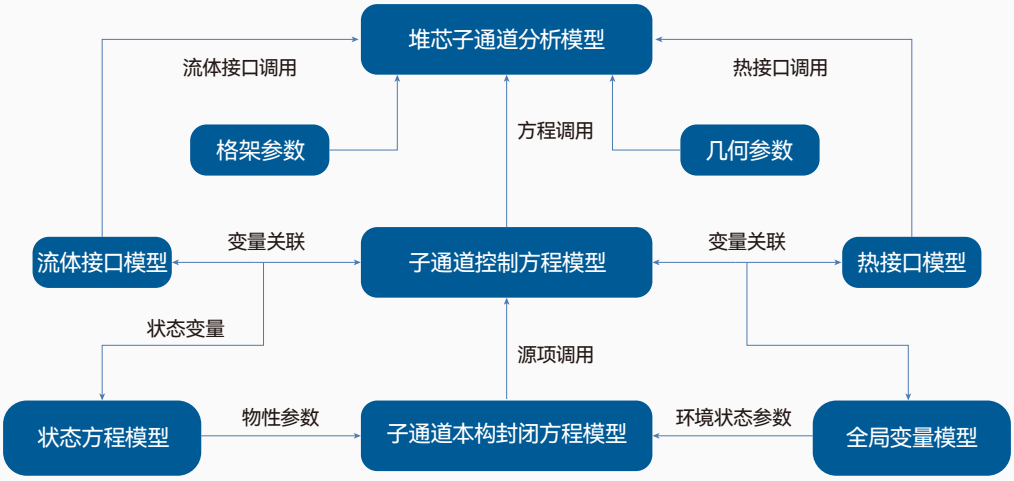
堆芯组件子通道分析软件以用户操作便捷性目标，提供功能完善、应用性高的用户界面，并提供多种几何构型、边界条件、热工水力模型的选择，满足堆芯流动换热特性分析需求。

堆芯组件子通道分析软件可实现对相邻通道间由于湍流效应和流动压差造成的横向流动的仿真模拟，提供对堆芯运行特性的准确计算结果。



堆芯组件子通道分析软件功能示意

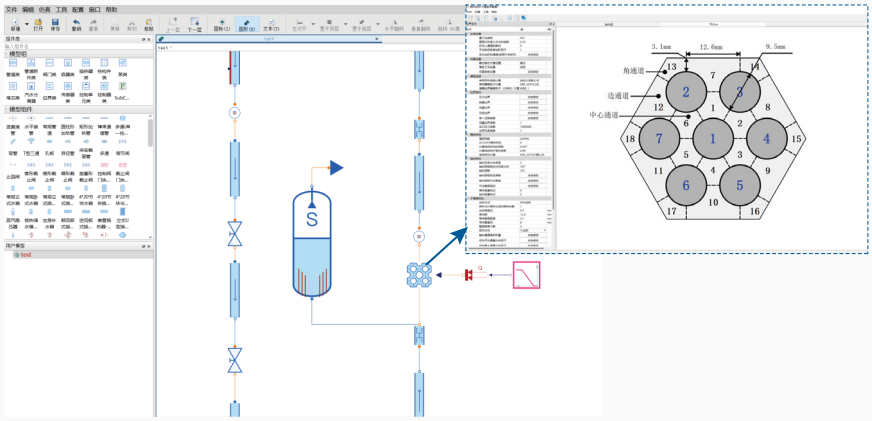
堆芯组件子通道分析软件提供基于Modelica的子通道分析模型库，模型库具备结构化的特点，可实现流动换热关系式的快速替换，同时提供流体接口和热接口模型，满足子通道模型与其他模型的数据交互需求。



堆芯组件子通道分析软件模型架构示意

面向复杂热工水力系统的统一建模仿真平台

统一建模仿真平台的模型库涵盖一维热工水力模型库和子通道分析模块，可实现在一维仿真界面对子通道分析模块的调用，生成基于统一建模方法的方程系统。统一建模仿真平台提供基于连续离散混合求解的复杂方程系统求解算法包，实现对一维热工水力模型和子通道模型的耦合求解。



统一建模仿真平台界面

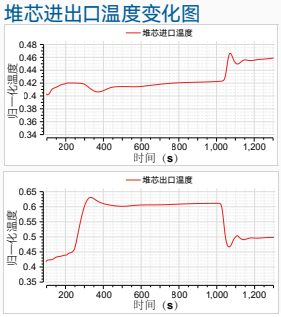
应用工况

含5*5燃料组件模拟体的反应堆主回路系统仿真

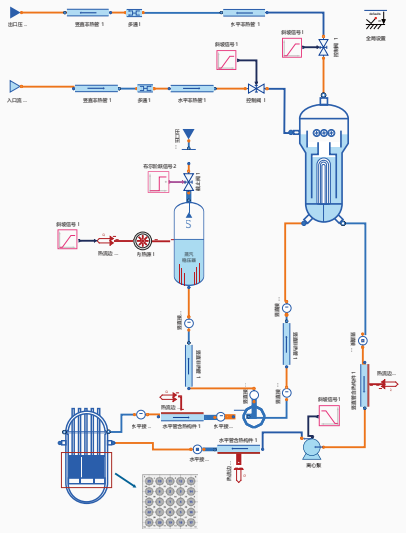
以反应堆主回路系统为对象进行建模仿真，其中反应堆堆芯加热装置为5*5燃料组件模拟体。

运行工况为反应堆主回路强迫循环与自然循环转换瞬态工况。

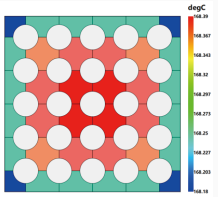
堆芯进出口温度变化图



反应堆主回路系统仿真模型



堆芯通道温度分布云图



苏州同元软控信息技术有限公司

0512-62720715/18115503283

marketing@tongyuan.cc

苏州工业园区淞北路333号D1幢

www.tongyuan.cc

关注同元软控 精彩内容不错过

关注MWORKS 精彩内容不错过