

Your True Partner for CAE&CFD
ICSC2014



非能动安全壳冷却系统（PCS）性能试验研究及相关数值模拟

国核(北京)科学技术研究院研发中心&国核华清
非能动安全壳技术研究室
常磊 博士
2014.11.18

国核研究院研发中心&国核华清（SNPTRD）

国核(北京)科学技术研究院(国家核电全资子公司)下辖研发中心、软件中心、程序工作室、锆业中心等单位。

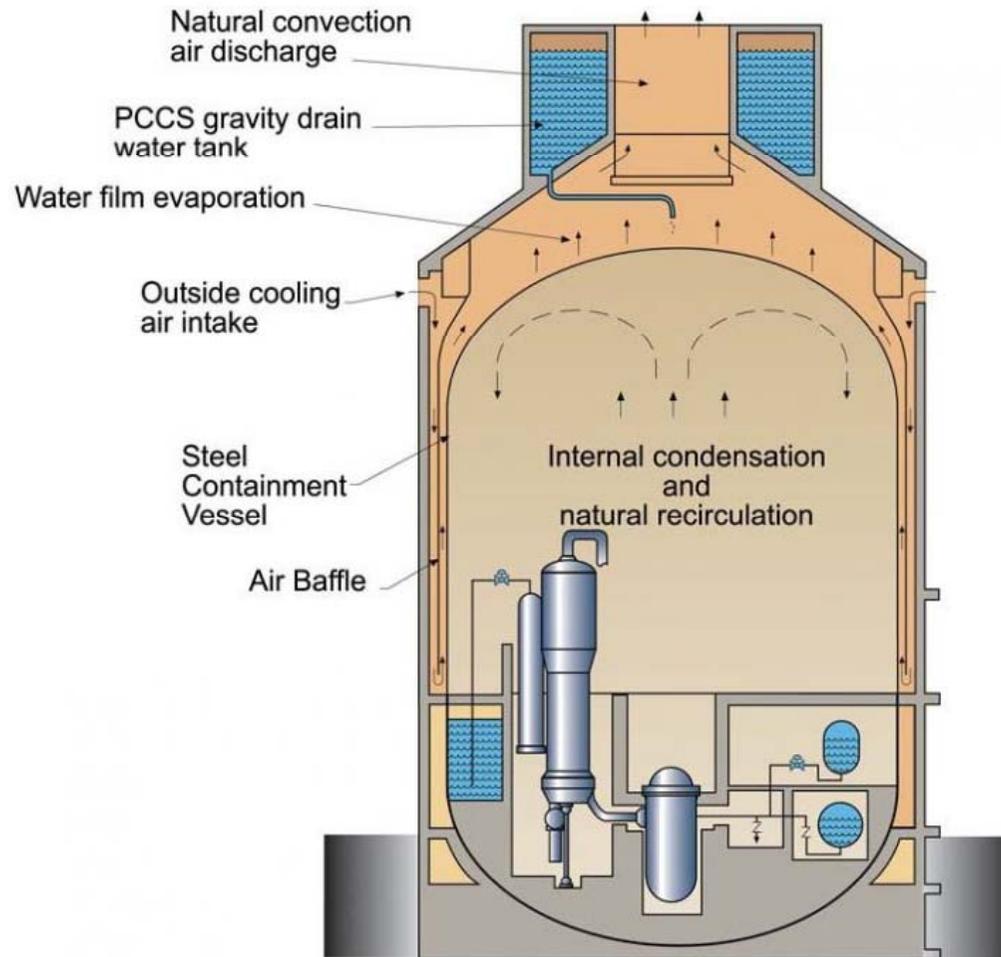
国核华清(北京)核电技术研发中心是国家核电与清华大学联合成立的核电技术研究单位。

研发中心近期主要工作围绕国家大型先进压水堆核电站重大专项, 承担CAP1400关键试验验证、共性基础技术及更大功率堆型(CAP1700)的预先研究。

非能动安全壳技术研究室是研发中心承担非能动安全壳冷却系统(PCS)相关技术的部门。

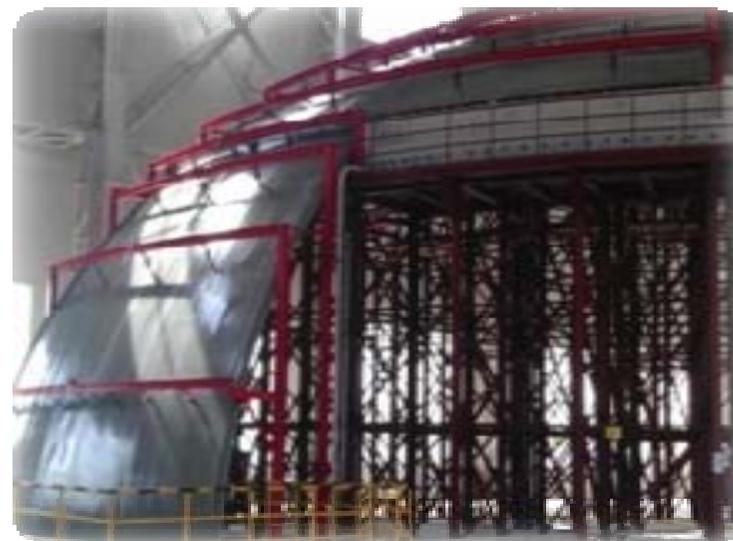


非能动安全壳技术研究室研究内容



非能动安全壳技术研究室研究内容（一）

水分配台架：依托山东海阳市山东核电设备制造公司建设，试验厂房建筑面积1500平方米，高度20米，有深6米，面积80平方米的基坑。建有非能动安全壳水分配试验台架，已完成CAP1400非能动安全壳水分配试验，后续正计划开展非能动安全壳水分配拓展试验，试验厂房一层有控制室、会议室及办公室，有完善的配电、供水、排水等配套设施。



非能动安全壳技术研究室研究内容（二）

冷凝试验台架：首个CAP1400非能动安全壳冷却系统冷凝现象试验台架，可以为开发凝结换热模型提供有效数据支持，并可为表面强化换热以及凝结液膜流动过程的研究奠定坚实基础。试验台架高约7.5 m，占地面积约200m²，包括试验本体、蒸汽供应系统、不凝性气体供应系统、冷却水供应系统和测控系统等。试验覆盖反应堆安全壳运行范围。本试验台架可用于研究安全壳内不同压力、温度等条件下蒸汽凝结换热现象，准确测量蒸汽参数、气体份额及凝结换热量等关键参数。



非能动安全壳技术研究室研究内容（三）

冷凝水膜耦合试验台架：可以开展混合对流凝结换热研究、钢壳壁面水膜二维导热传热过程和规律性研究、涂层表面改性及表面结构强化换热研究等，是国内外首创的耦合现象研究平台，已达到国际先进水平。台架采用精密自动控制与调节技术，蒸发腔体内较准确实现常压、高湿气流、高低流速。凝结腔体采用蒸汽锅炉供应蒸汽，可实现混合气体中蒸汽过热度。

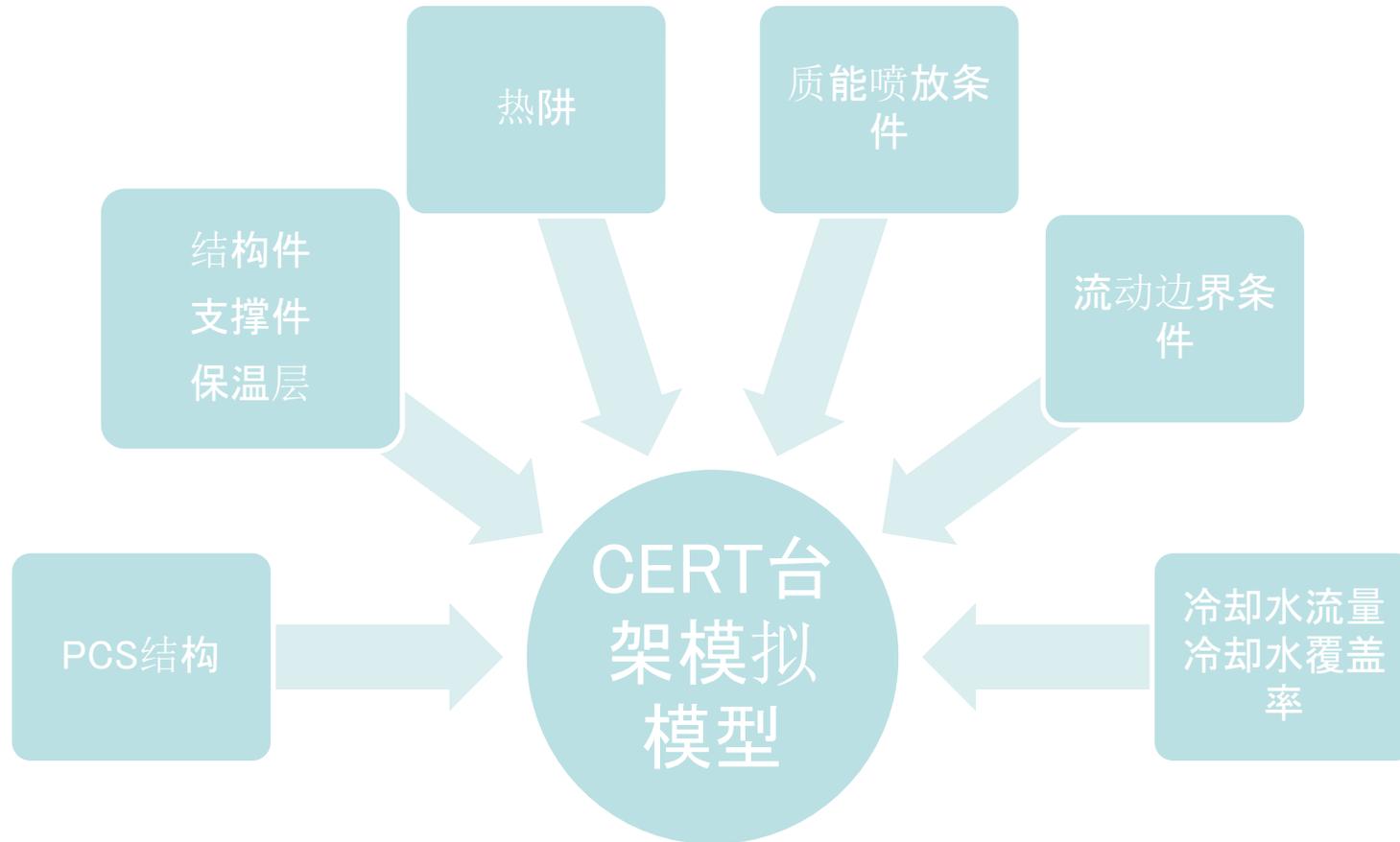


非能动安全壳技术研究室研究内容（四）

PCS综合性能试验台架:非能动安全壳系统整体综合性能试验台架,可以模拟极端事故下的系统整体运行性能的综合过程,其事故模拟能力超过国际同类试验台架,为世界首个能够按此结构比例实现事故情景模拟的试验台架。台架总高约15m,占地900多平方米,包括试验本体、蒸汽供应系统、冷却水供应系统、氦气充注系统、冷凝水收集系统和测量和控制系统等。测量系统共有测点近千个,同时还配置有水膜覆盖率测量、气体组分测量、激光多普勒流速测量等测量系统。



PCS相关数值模拟研究（一）

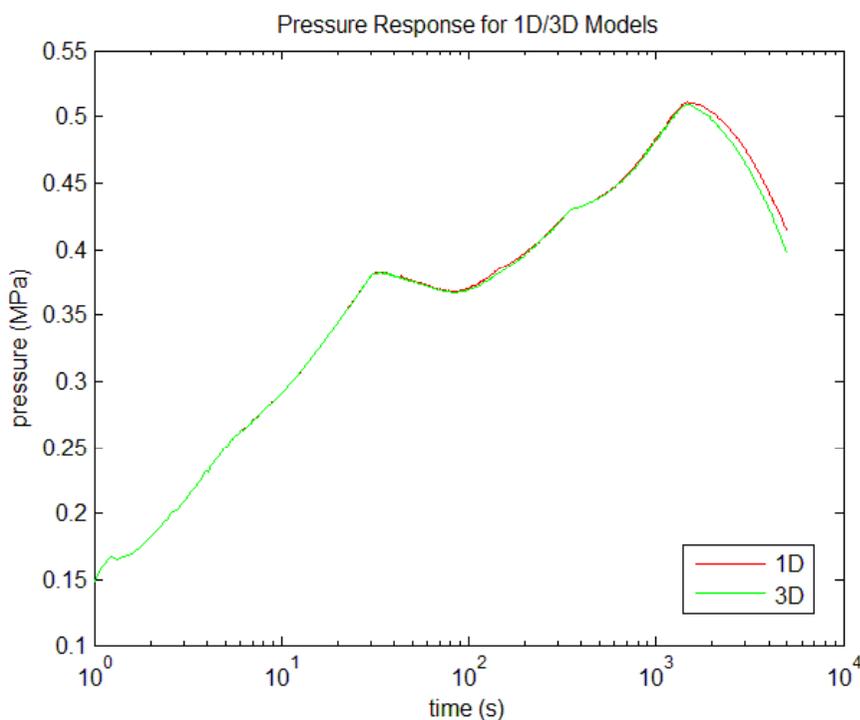


PCS相关数值模拟研究（三）

三维导热峰值压力比一维导热低约2.8%，温度低 2 K(0.4%)。

结论：当前结果表明，一维导热简化模型对安全壳壳内热量移出是保守的，三维模型可以获得稍低的壳内温度和压力响应结果。另外，条带覆盖情况下长期冷却阶段的壳外壁面换热有明显的加强，在条件合适时可以考虑使用三维导热模型进行细化分析。

ICONE20-54612





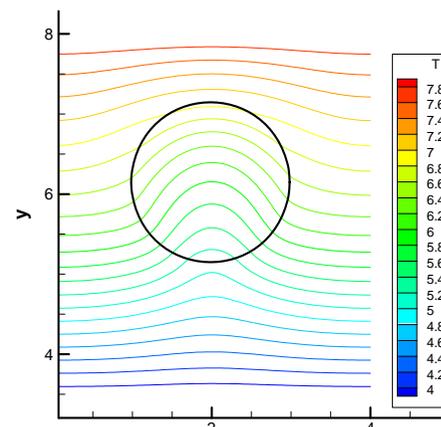
PCS相关数值模拟研究（四）

界面追踪方法在液膜仿真中的探索

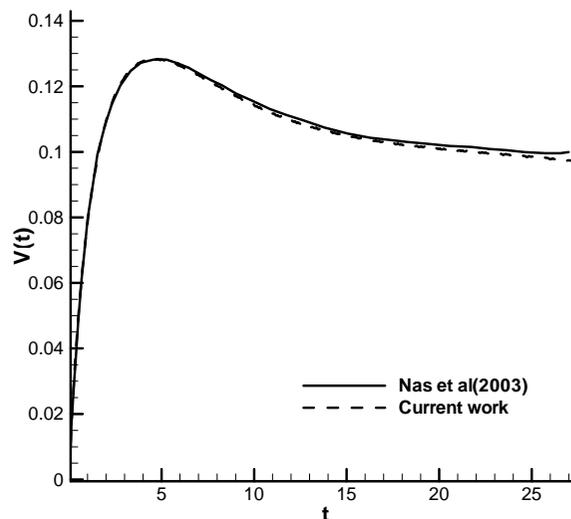
对界面单元速度进行了如下修正，获得了较好的体积守恒结果：

$$\Delta u_n = - \frac{\sum_f \Delta s_f \mathbf{u}_f \cdot \mathbf{n}_f}{\sum_f \Delta s_f}$$

ICONE21-15187



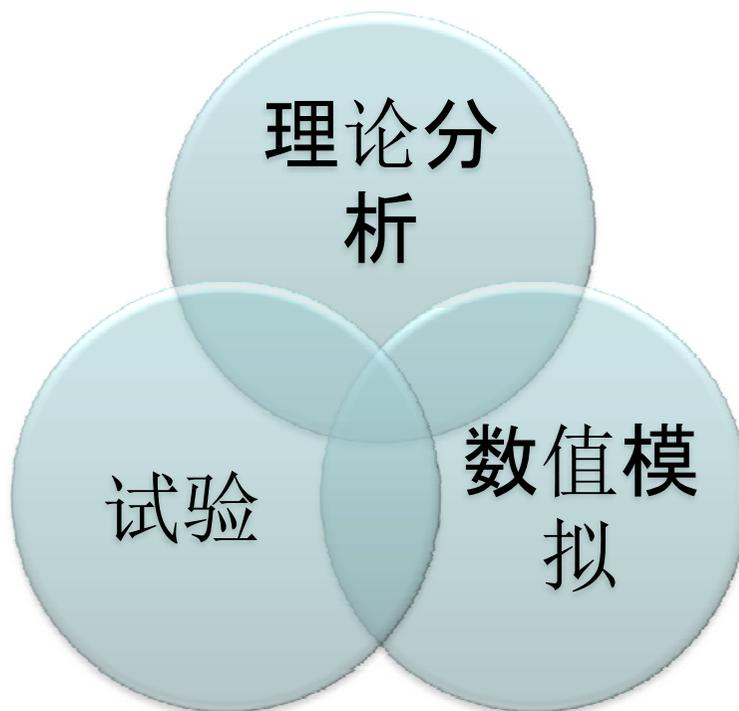
液滴界面及周围温度场得到较好模拟



液滴移动速度与权威文献一致



PCS相关数值模拟研究——未来计划



国核华清与IDAJ合作，基于iconCFD平台定制开发PCS综合现象模拟CFD平台，提升核电技术综合研究水平，服务国内外核电行业设计、研发、咨询需求。



谢谢合作！