

2. 一等奖成果

2.1 内置换料水箱流固耦合抗震试验和数值分析研究

➤ 简要信息

- 【获奖类型】 应用一等奖
- 【任务来源】 大型先进压水堆核电站国家重大科技专题课题
- 【课题起止时间】 2015 年 7 月~2016 年 12 月
- 【完成单位】 中国水利水电科学研究院、上海核工程研究设计院
- 【主要完成人】 胡 晓、张艳红、高建勇、杨 陈、褚 蒙、徐 挺、邸庆霜、王海波、李春雷、许亮华

➤ 背景

本项目隶属于大型先进压水堆核电站国家重大科技专题课题“CAP1400 工程设计验证与相关试验”。上海核工程研究设计院是该重大专项的科研设计总负责单位，中国水利水电科学研究院承担了内置换料水箱流固耦合抗震试验和数值分析工作。

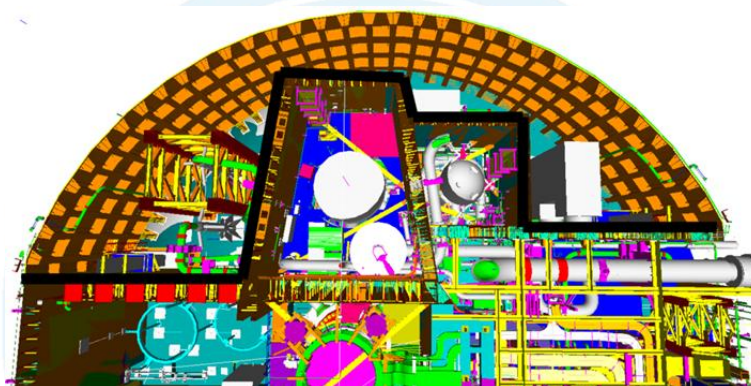
本项目重点针对 CAP1400 内置换料水箱及其水内关键设备、管道和结构，结合振动台试验及数值模拟，对复杂流场大型水箱在地震下流固耦合效应进行研究，验证水晃动荷载分析方法，形成了复杂水箱流固耦合分析方法，并将该方法推广至地震工况下水箱结构侧壁及顶盖上的水晃动荷载以及设备上的水晃动荷载的确定。

➤ 主要内容

- 提出了核电内置换料水箱（IRWST）动力流固耦合相似比尺系数中，惯性力与佛罗德数同时相似的理论与方法，完成了 IRWST 水箱振动台模型设计。
- 在国内首次在振动台上完成 IRWST 水箱模型水晃动试验。
- 设计了 IRWST 水箱隔板的减震方案并进行了相应的数值模拟分析。
- IRWST 水箱流固耦合抗震试验与数值模拟验证。

➤ 创新点

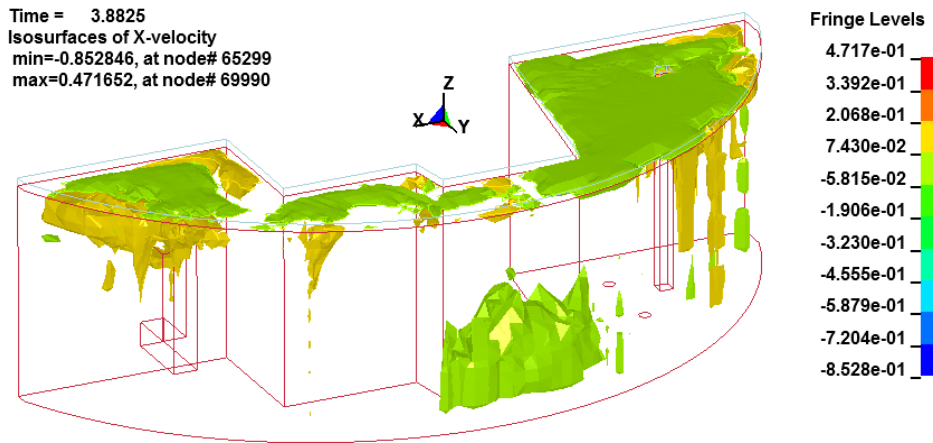
- 针对复杂水箱结构，提出结构-流体-设备的动力试验特征相似准则，解决了惯性力与弗洛德数在一个动力模型试验相似的关键问题。
- 通过多工况试验，研究了复杂水箱内设备受力特征及关键影响因素，创新性提出了水箱内部设置隔板减震的方案，有效降低了液面晃动效应以及水箱内部设备的动水压力。
- 通过将试验与计算相结合，研究了水箱动力特性、冲顶效应、设备耦合等问题，形成了合理可靠的复杂水箱流固耦合分析方法，有效提高了现有设计水平。



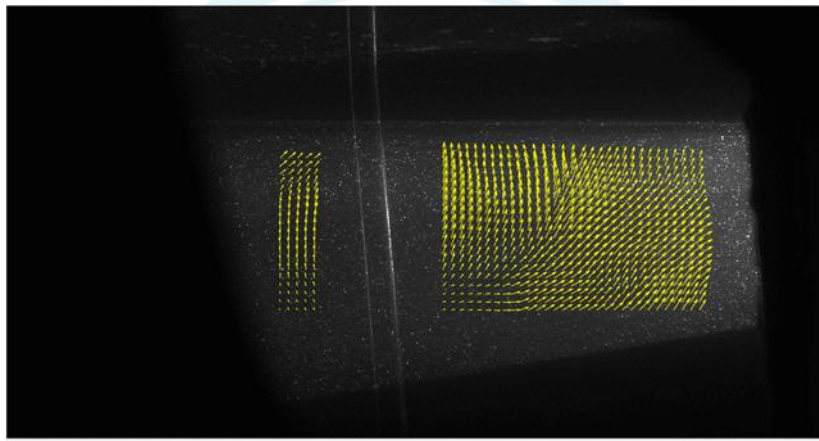
CAP1400 内置换料水箱原型示意图



CAP1400 内置换料水箱流固耦合相似模型



水体流场数值模拟图 (单位: m/s)



粒子图像测速仪 (PIV) 实测断面流场矢量图

➤ 推广应用情况

本成果对流固耦合试验相似理论的突破, 解决了以往振动台流固耦合试验无法完全与原型水箱动力相似的难题。同时, 通过数值模拟和试验结果的对比分析, 形成一套系统、完善、合理的复杂水箱流固耦合分析方法。校验了设计正确性和安全性, 为 CAP1400 工程换料水箱抗震安全设计提供科学支撑。