



开拓创新、精心调试，助力高温堆技术发展

报告单位：华能山东石岛湾核电有限公司

2022年7月·浙江宁波





CONTENTS

01 高温气冷堆示范工程简介

02 高温气冷堆示范工程
调试经验





01

高温气冷堆 示范工程简介

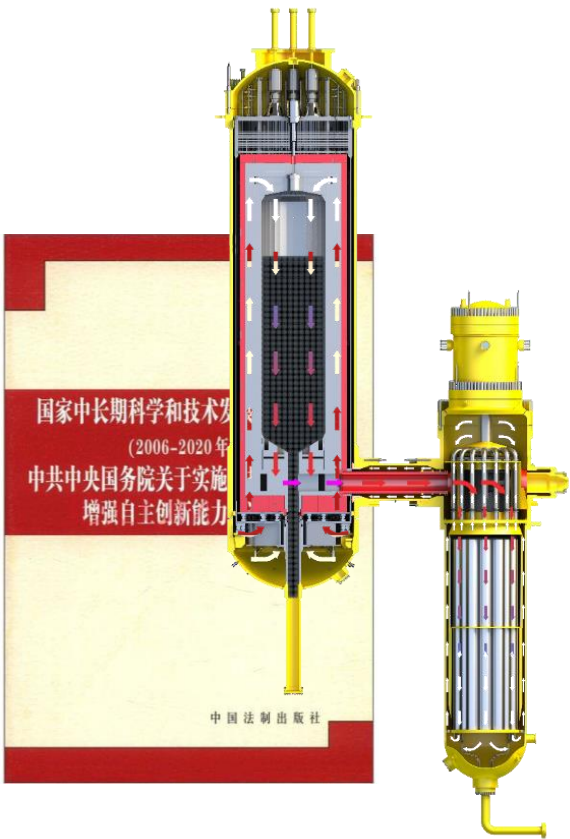


一、高温气冷堆示范工程简介



2022 年度
核电工程建设经验交流会议

国家科技重大专项



政府推动 企业主导 市场运作 合作共赢

大型先进压水堆与高温气冷堆核电站 重大专项领导小组

领导小组办公室

专家委员会

高温气冷堆专项实施办公室

现场指挥部总指挥
华能集团

现场指挥部副总指挥
清华大学、中核集团

协调办公室
华能石岛湾公司

大力协同
自立自强



现代产业链链主
原创技术策源地

产



.....等数百家

学



研



.....等数十家

用

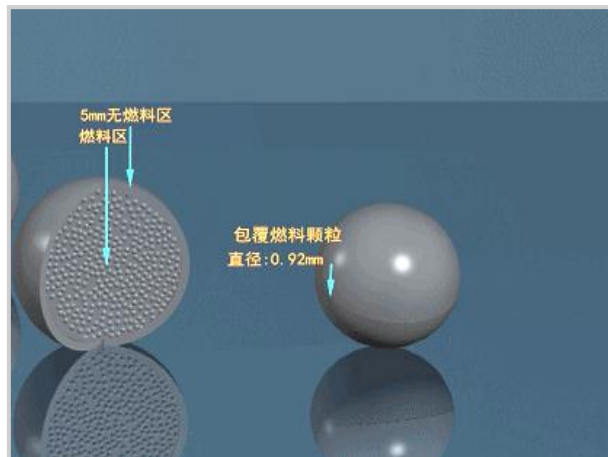


一、高温气冷堆示范工程简介 | 主要技术特点

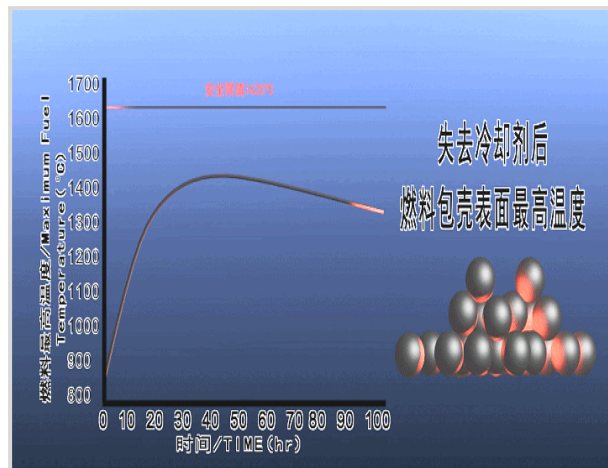


2022 年度
核电工程建设经验交流会议

全陶瓷包覆燃料颗粒



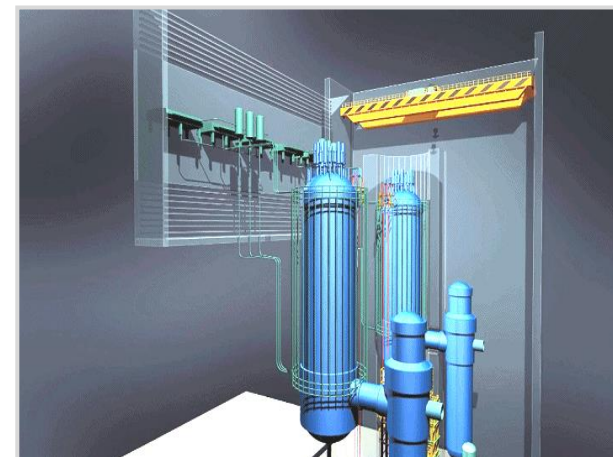
负反应性温度系数



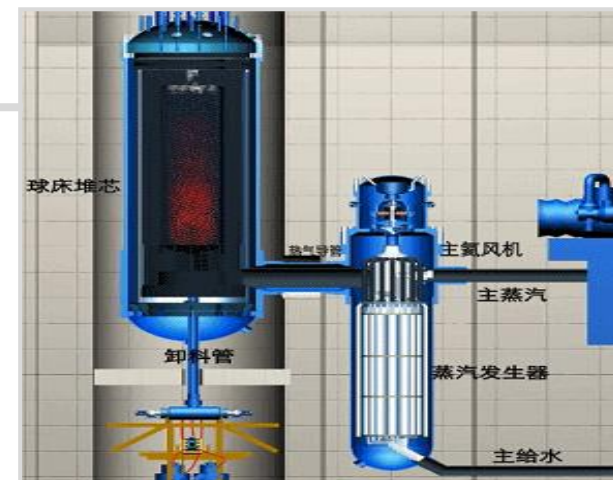
固有安全性

- ★ 不会发生堆芯熔化
- ★ 不会发生大规模放射性物质释放
- ★ 技术上不需要采取厂外应急措施

非能动余热排出



氦气冷却剂



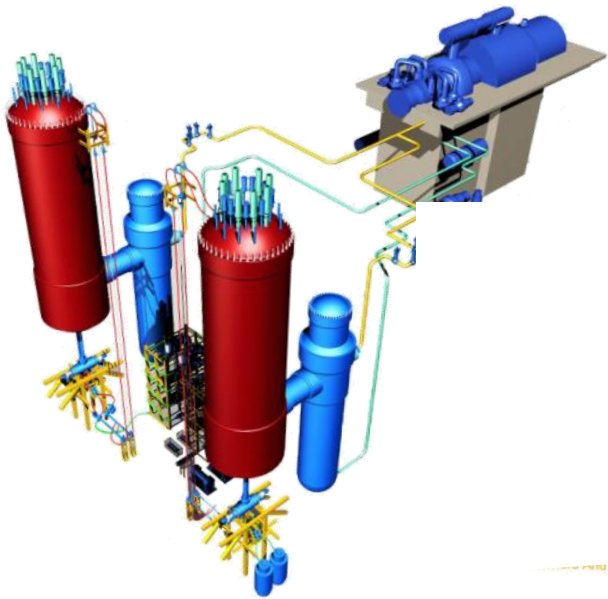
一、高温气冷堆示范工程简介 | 机组概况



2022 年度
核电工程建设经验交流会议

设计参数

项目	参数
热功率	2*250MWt
电功率	211MWe
堆芯直径	3m
堆芯高度	11m
氦气压力	7MPa
堆芯出口温度	750℃
堆芯进口温度	250℃
主蒸汽温度	500-570℃
主蒸汽压力	11-14.3MPa



系统设计

核 岛 **47**[↑] 常规岛 **31**[↑]

核岛设备共
15000余台套件

常规岛设备共
12000余台套件

工程首次使用
2200余台套

创新型设备
660余台套

93.4%
设备国产化率

一、高温气冷堆示范工程简介 | 建设历程



2022 年度
核电工程建设经验交流会议

建造许可证



核材料许可证



操纵员执照



运行许可证



2012年12月



获颁建造许可证

2008年2月

重大专项实施
方案获国务院
批准

2020年4月



三壳组对完成

2020年11月



完成双堆冷试

2021年3月

完成双堆热试

2021年8月



获颁运行许可证，启动装料

2021年9月

首次临界完成

2021年12月20日



首次并网

投产商运



国家科技重大专项高温气冷堆核电站示范工程开发建设历程



02

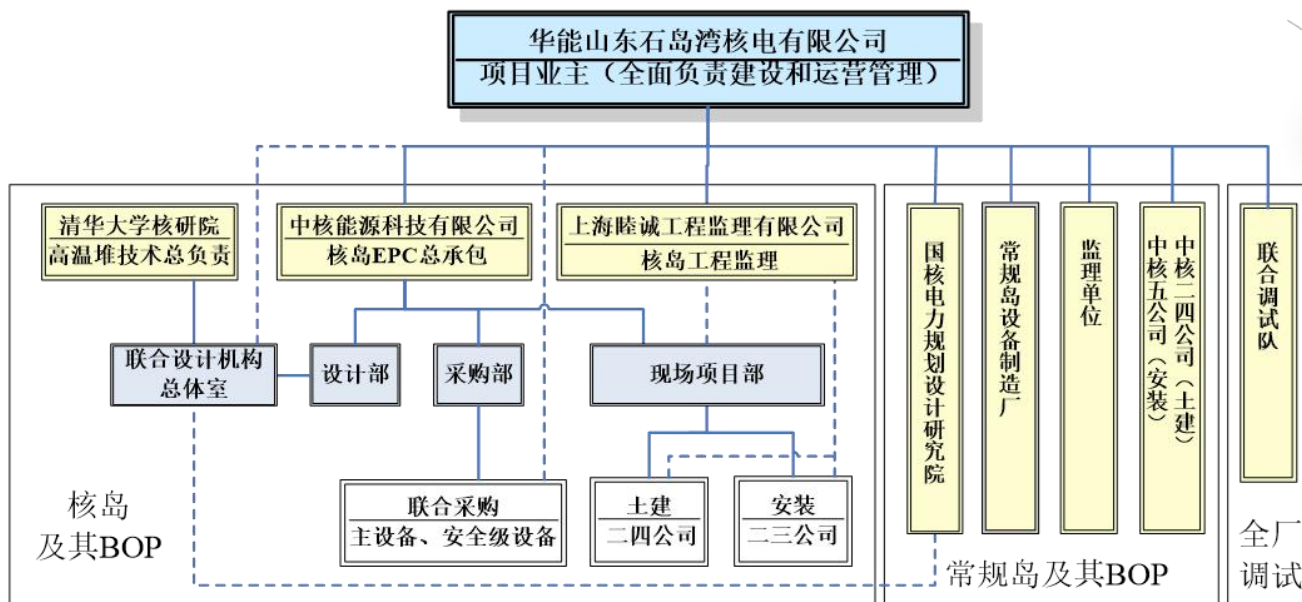
高温气冷堆示范工程 调试经验



二、高温气冷堆示范工程调试经验 | 项目管理模式



2022年度
核电工程建设经验交流会议



1

工程

业主全面负责

2

核岛

核岛及其BOP工程EPC总承包

3

常规岛

常规岛及其BOP工程业主自主管理

4

调试

业主组织联合调试



二、高温气冷堆示范工程调试经验 | 调试组织模式



2022年度
核电工程建设经验交流会议



业主负责调试的总体组织和管理

根据高温堆示范工程“产学研用”的项目特点，石岛湾公司发挥主导作用，成立以业主为主导的联合调试队，全面负责调试管理、安全保障、质量控制、技术支持及后勤保卫等调试活动，统筹公司调试生产人力和技术的配置。

同时，充分发挥清华核研院、西安热工院等设计单位、专业院所的技术优势，组建了一只职责清晰、素质全面的专业调试队伍。

调试监理



提升工程建设质量



打造调试精品工程

调试监理

安全监督

质量监督

为确保示范工程调试安全、质量可控在控，石岛湾公司在联合调试队内部建立了完善的调试安全和质量控制的管理体系和网络。

同时，建立示范工程调试监理制度，委托第三方对示范工程调试过程安全、质量开展独立监督，有效保障和提升了示范工程调试安全质量。

二、高温气冷堆示范工程调试经验 | 工程冷试

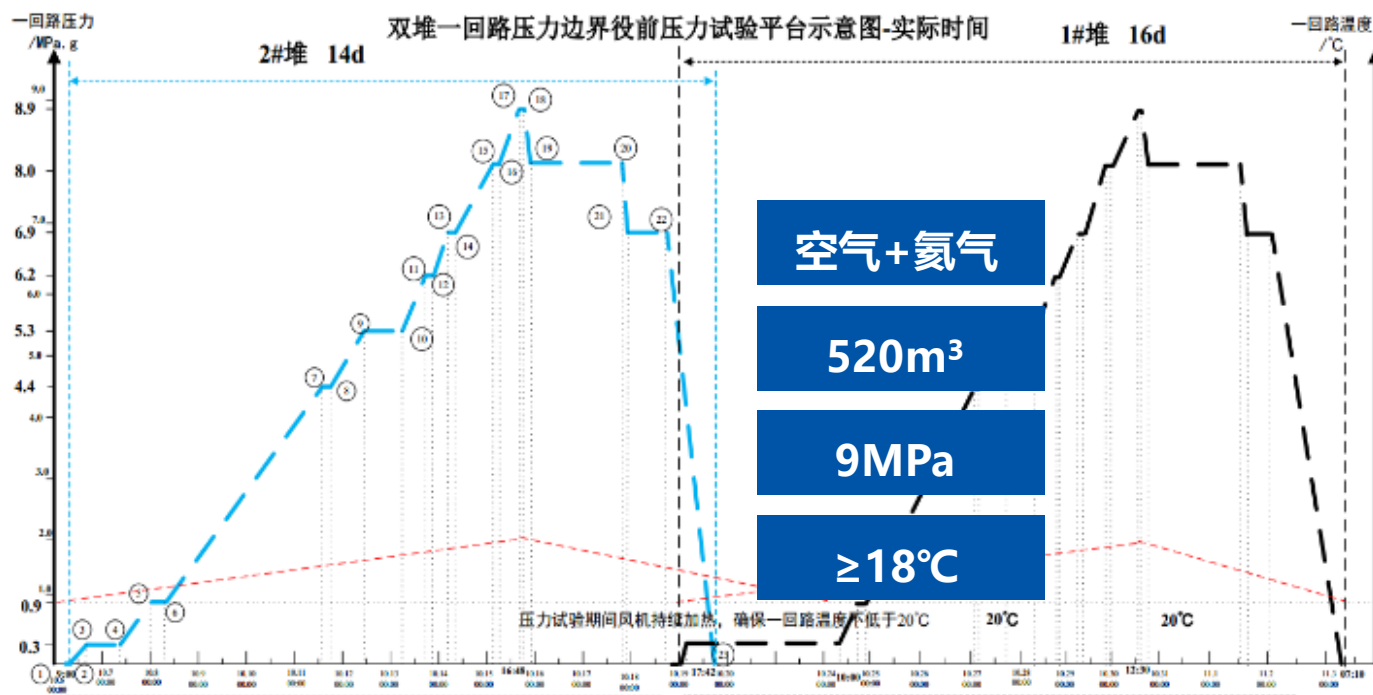


2022 年度
核电工程建设经验交流会议

冷试概述



向一回路充入干燥压缩空气至9.0MPa (≥ 1.1 倍设计压力)，检验一回路压力边界强度和密封性，并利用压力试验窗口开展一回路调压等冷态功能试验。



- 试验体积大，压力高，工期长，气压试验风险高
- 无持续可用一回路热源
- 一回路密封要求高
- 密封面多，气体分子小，密封难度大

冷试技术特点

经验反馈

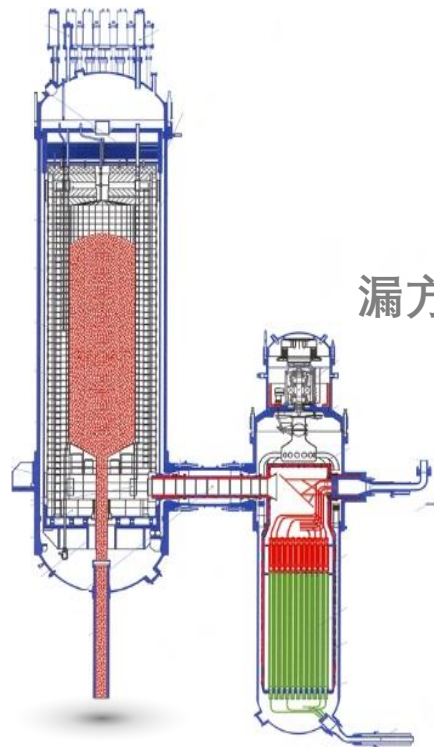


1 配置冗余的升压措施

增加大功率空压机作为一回路升压主气源，将正式隔膜压缩机作为备用气源。

★ 升压速率提升一倍，升压时间缩短一半；

★ 冗余配置升压手段，提高了设备故障应对能力。



2 提前排查并消除漏点

研究并制定针对高温堆超大压力容器的氦质谱法检漏方案，提前排查并消除一回路压力边界范围内漏点。



检查并处理2#堆泄漏超标部位12处，1#堆泄漏超标部位17处，1、2#堆泄露率试验结果（要求 $\leq 1\%$ ）分别为0.128%和0.158%。

经验反馈



3 充分的温度保障措施

根据一回路压力容器脆性转变温度要求，冷试期间压力容器温度不得低于 18°C ；通过采取充分的温度保障措施，一回路温度始终保持 35°C 以上。

01 低压阶段启动主氦风机预热

低压阶段启动主氦风机将一回路加热至约 45°C （避免温度过高水分析出）

02 提高一回路进气温度

室外供气管路上敷设伴热带并加装保温，提高供气温度

03 提高环境压力容器环境温度

布置大型热风机向压力容器舱室内持续输送热风，维持环境温度约 40°C

04 严格控制降压速率

严格控制降压速率，允许陶瓷堆内构件蓄热充分释放



二、高温气冷堆示范工程调试经验 | 工程热试



2022 年度
核电工程建设经验交流会议

热试概述



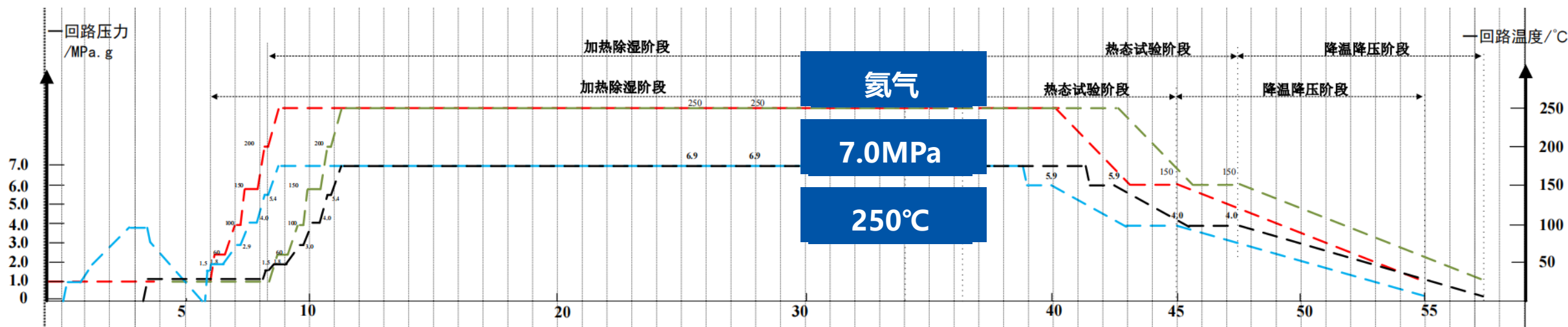
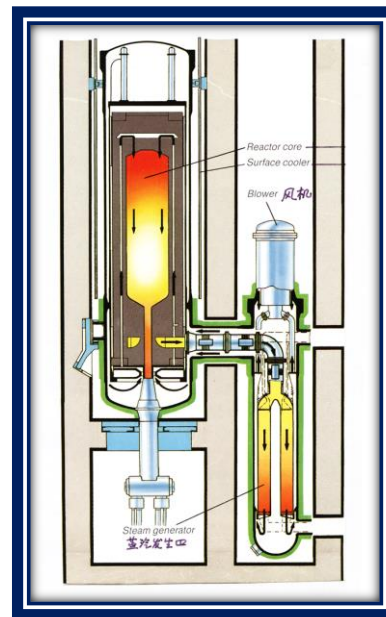
将一回路气氛置换为氦气，通过主氦风机对一回路进行加热，最终将一回路升温升压至7MPa.a、250°C。



在氦气气氛下对堆内陶瓷构件和预装石墨球进行初步除湿



模拟核电厂实际运行工况，验证系统和设备的热态功能



二、高温气冷堆示范工程调试经验 | 工程热试



2022 年度
核电工程建设经验交流会议

经验反馈



1 三步法除湿

高温气冷堆反应堆内安装有大量的陶瓷堆内构件，并在装料前预装约24.5万个石墨球，反应堆装料前需要初步去除这些材料吸附的大量水分。

除湿三步法

01
STEP

抽真空除湿

气氛切换时一回路抽真空除湿

02
STEP

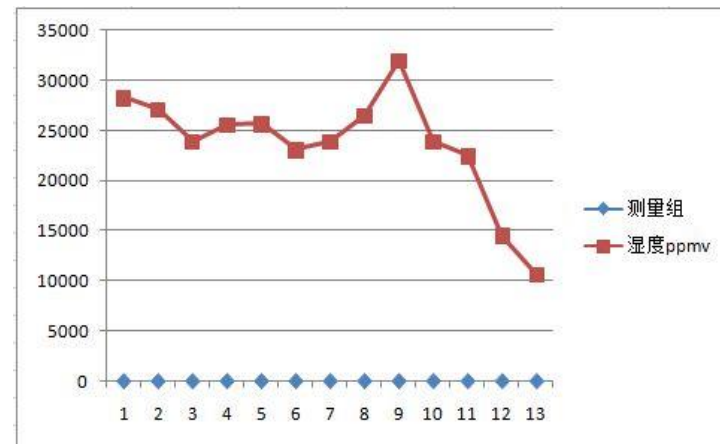
冷凝除湿

利用氦净化事故冷却除湿列的水氦冷却器、汽水分离器进行加热冷凝分离除湿

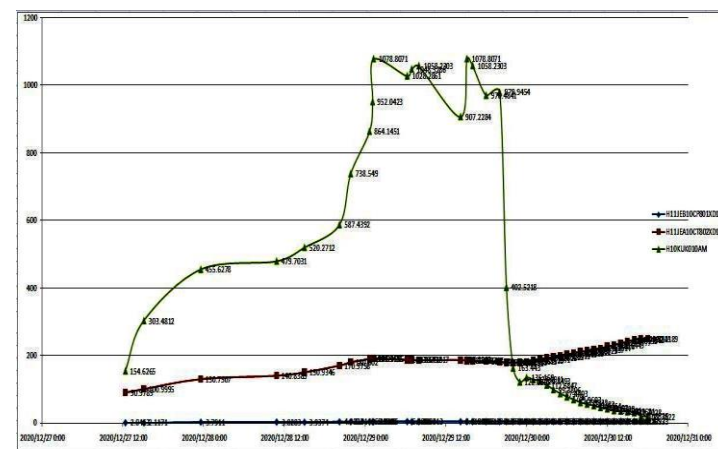
03
STEP

吸附除湿

利用氦净化正常净化列分子筛床吸附除湿



真空泵出口湿度变化趋势



一回路冷凝除湿及吸附除湿阶段湿度变化

经验反馈



2 防止冷端凝露

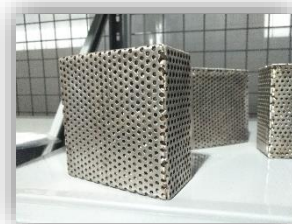
反应堆首次加热过程中，堆内的材料水分被加热析出，可能在一回路冷端凝结，对金属材料或电气部件造成损害。

物理吸附

主氦风机电机腔内增加分子筛



02



01

03

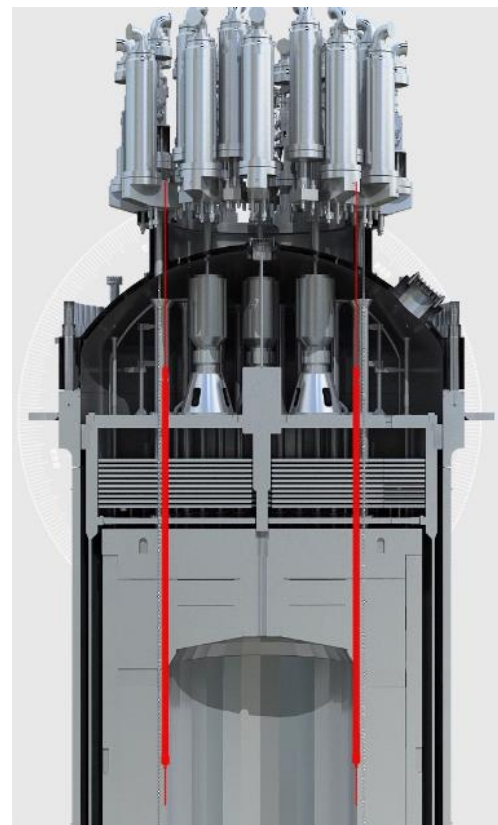
冷端电加热

在控制棒、吸收球、燃料装卸等一回路冷端安装电加热装置及温度测量点



动态监测

实时监测一回路湿度，并与一回路边界最低温度比对



役前检查概述



对核安全级部件及其支撑件开展役前检查，主要包括三大壳和九个核级工艺系统（燃料装卸系统、一回路压力卸放系统等），为在役检查建立可供比较的基准点

- 主设备焊缝尺寸大、数量多
- 反应堆压力容器不开盖
- 热气导管管嘴与RPV筒体连接焊缝为大尺寸马鞍型焊缝
- 螺旋盘管式蒸汽发生器

役检技术特点



二、高温气冷堆示范工程调试经验 | 役前检查

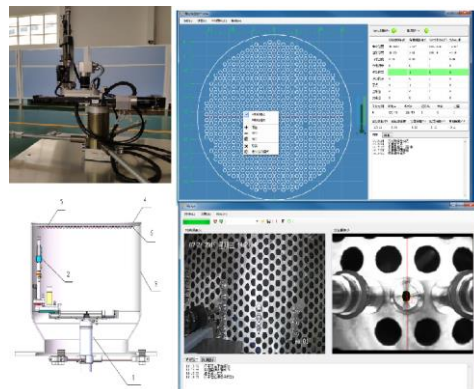
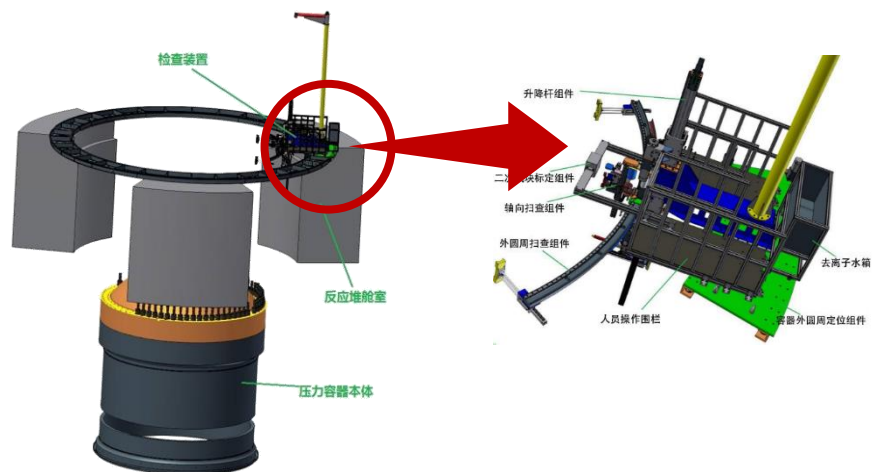


2022年度
核电工程建设经验交流会议

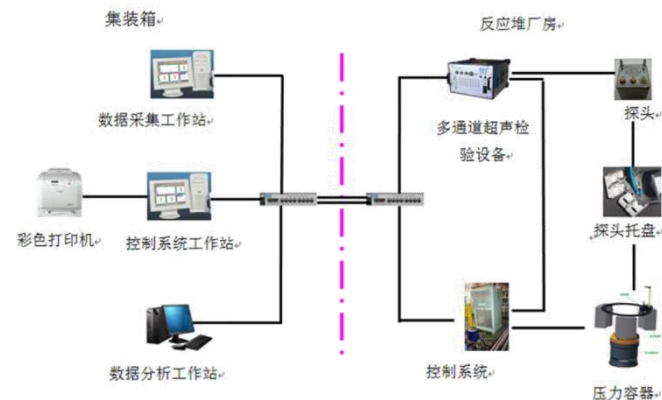


研发高温堆专用役检自动设备

- 1 压力容器壳体焊缝外壁检查
- 2 蒸汽发生器传热管氦检漏
- 3 主螺栓在位检查
- 4 热气导管壳体型管嘴法兰马鞍型焊缝检查
- 5 反应堆压力容器底封头焊缝检查



克服了机械设备受限空间安装及定位、马鞍形焊缝交贯面探头贴合、传热管结构复杂及空间狭小等难题，并首次实现成功应用。



二回路化学清洗概述



高温堆主蒸汽管道因主蒸汽参数高、管径小、两堆带一机、直流式蒸汽发生器等特点，无法通过压空吹扫、人工擦拭等常规的清洁方式进行。

主蒸汽系统

13.9MPa、571℃，材质为P91

主给水系统

16.5MPa、205℃，材质为P22

经技术研究，高温堆二回路水汽系统采用化学清洗方法进行清洁。根据系统管道材质和运行参数的不同分两阶段进行：

第一阶段：**低温碱洗**，范围主要是凝结水系统；

第二阶段：**高温酸碱洗**，范围主要是主给水系统、主蒸汽系统及启停堆系统。

二、高温气冷堆示范工程调试经验 | 二回路化学清洗



2022 年度
核电工程建设经验交流会议



解决难题

解决了高温堆二回路主蒸汽管道清洁难题，开创核电二回路化学清洗的先例，积累了成熟经验



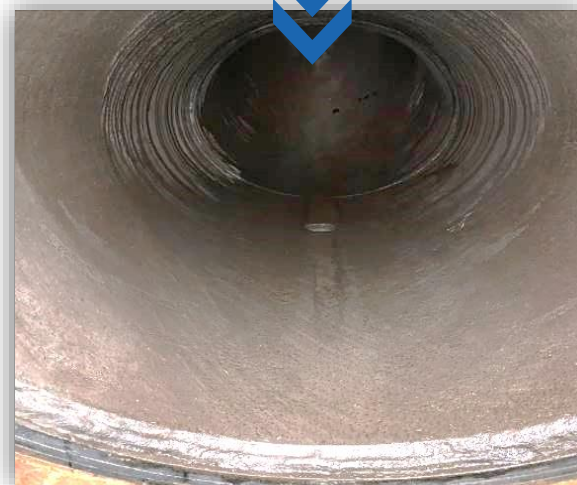
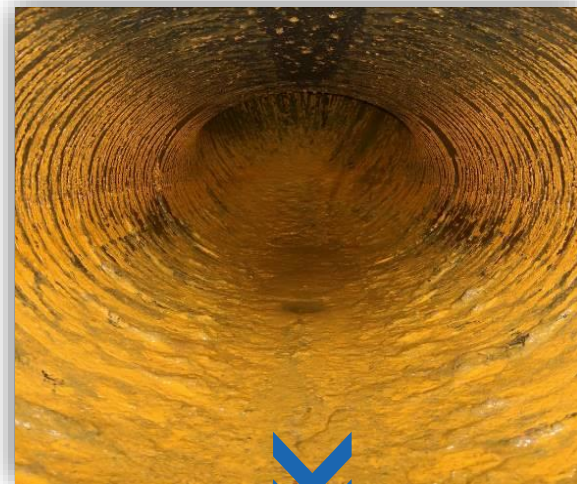
效果良好

化学清洗后管道腐蚀量和残垢量远低于国标要求，机组运行期间水质优良



节能环保

缩短冲洗时间，节省冲洗用水，避免了带核冲洗废水处理难题



汽轮机非核冲转概述

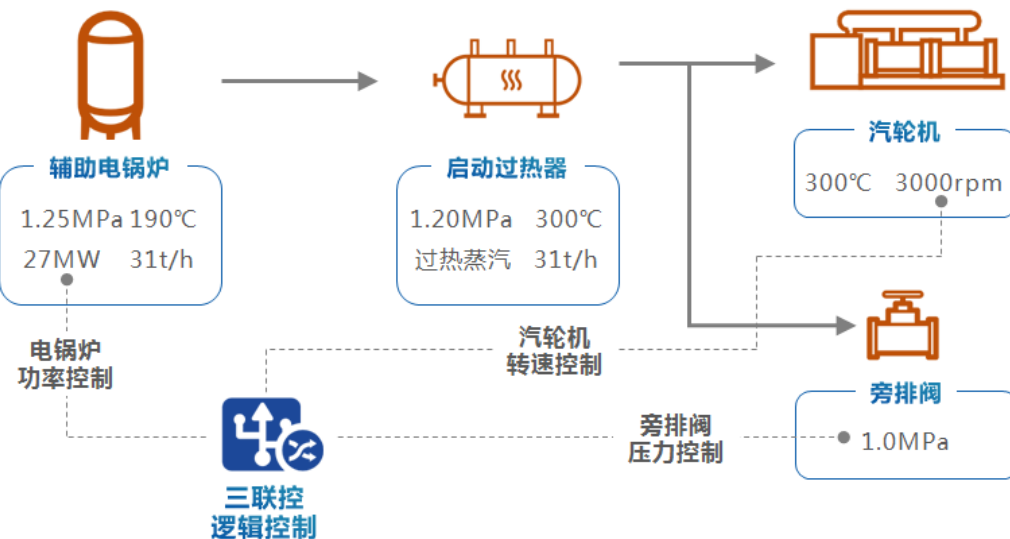


高温堆非核冲转特点

- 汽轮机为过热蒸汽机型
- 直流式蒸汽发生器持续产生过热蒸汽需要大量热量
- 项目无其他过热蒸汽汽源

高温堆非核冲转策略

首创性提出“小加热系统”推动“大常规岛”的非核冲转方案，并开发出了“辅助电锅炉+启动过热器+三联控”的控制策略



二、高温气冷堆示范工程调试经验 | 汽轮机非核冲转



2022 年度
核电工程建设经验交流会议

中国华能 CHINA HUANENG 高温气冷堆示范工程

全面验证

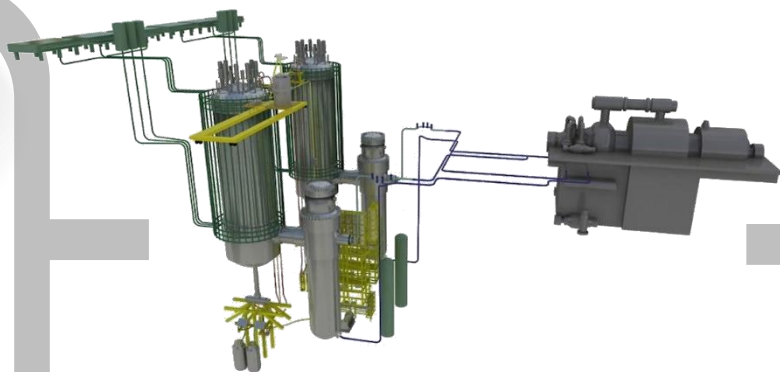
01

开发非核冲转新方式，完成汽轮机非核蒸汽冲转，全面考验了常规岛联合运行能力

提前冲洗

03

提前开展二回路高温冲洗，进一步保证系统清洁度



02

消除缺陷

发现和消除1#瓦温高等100余项系统和设备缺陷，为首次冲转并网扫清了障碍

04

成果创新

创立高温堆非核冲转的先例，申请发明及实用新型专利14项



谢谢
THANK YOU

