



# 华龙一号设计优化和持续创新

中国核电工程有限公司

2022.09



# CONTENTS

01

华龙一号优化创新背景情况

02

中核工程华龙一号在建项目  
设计优化

03

持续优化——中核集团华  
龙一号改进型机组

04

华龙未来优化方向展望



01

华龙一号优化创  
新背景情况介绍

## 01 华龙一号优化创新背景

福岛核事故引起广泛关注，国内外进一步提高核安全要求。

多年压水堆设计、建造、调试**经验积累**，自主研发三代能力。

中核广核  
共同研发



完全自主产权、满足国内外**最新安全标准**（用户要求）的先进三代压水堆核电品牌——**华龙一号**

**全球首堆** “福清5号机组” 于2021.1.30宣布商运，

**海外首堆** “巴基斯坦卡拉奇K2机组” 于2021.5.20宣布商运；目前均运行业绩良好。

### 五大研发原则

#### 自主化原则

具有**完整自主知识产权**，覆盖设计、燃料、设备、建造、运行、维护等压水堆全生命周期

#### 安全性原则

满足IAEA及国家核安全局最新法规、标准，概率安全指标优于监管要求一个数量级以上

#### 经济性原则

与其他三代压水堆技术相比，具有经济竞争力

#### 成熟性原则

基于成熟装备制造业体系  
对新技术进行充分验证

#### 国产化原则

首堆工程设备国产化率将高于85%，实现系列化以后可高于95%

堆芯实景图

1、177堆芯设计

2、自主化CF3燃料组件

3、能动加非能动安全设计特征

4、创新的核岛与安全壳设计

5、核心设备自主化

6、在高度信息化技术支撑下的工程总承包项目管理体系

7、打造数字华龙

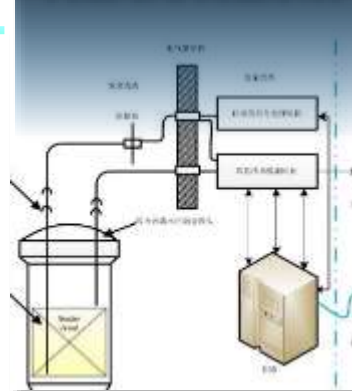
8、创新的施工安装技术

9、首套自主化核电软件包NESTOR

10、构建完整自主的核电标准体系

十大  
创新成果

先进堆芯测量系统



燃料组件



716 件国内专利



65 件国际专利



125 项软件著作权



200+ 海外商标



1500+ 核心科研报告以及海量科技创新论文

## 01 华龙一号优化创新背景

对于华龙一号示范工程的全面建成，**习近平**总书记曾作出重要指示：  
**“做好核电持续优化创新”、“确保核电绝对安全”。**

集团和公司采取了**遵循渐进式**技术发展路线，不断优化，提升品牌竞争力，在**确保核安全**的前提下进一步提高机组的经济性等技术指标。



**总书记指示**

最新核安全要求

安审遗留问题与经验反馈

提高自主知识产权的门槛

优化经济性

提高厂址适应性

对标先进同行

探索建设等其他领域新技术在核电领域的应用





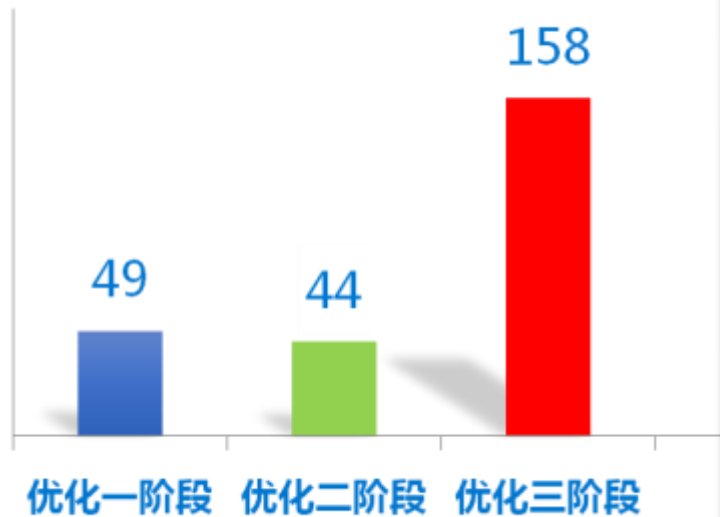
# 02 中核工程华龙一号 在建项目设计优化



## 02 中核工程华龙一号在建项目设计优化

最新华龙在建项目“漳州一期和海南昌江3/4号”中：“已完成**共计251个**重要设计优化项目的立项，从设计方案上切实有效的提升核心竞争力，用实际行动践行“**最高标准、最优质量、最好性价比，提升中国核电在国际市场的竞争力**”的**总理指示**。

华龙一号设计优化分三个阶段实施：一阶段**49**项，二阶段**44**项，三阶段（华龙运行优化）**158**项。



序号	设计优化
1	反应堆功率提升
2	采用自主化CF3燃料组件设计改进
3	抗大飞机撞击设计优化
4	取消PRS应急补水箱改进
5	基于SSG-30体系的物项分级原则改进
6	设计扩展工况改进
7	堆腔注水冷却系统(CIS)系统改进
8	余排系统改进
9	应急硼注入系统改进
10	安全壳预应力廊道改进

通过一系列的设计优化，已经为**最新在建**华龙一号项目（海南3、4）节约一次性投资约数亿元，为实现华龙一号比投资低于**1.51**万元/kW的总体优化目标作出重要贡献。



## 02 中核工程华龙一号在建项目设计优化

除此之外，中核工程从设备采购、建安施工、调试运行和项目管理等多个领域也全面开展了华龙优化工作，以经济性、安全性和技术指标提高为目标，全面提升核心竞争力。



海南昌江核电厂3号机组FCD

主要优化题目（不含设计）	实施单位
华龙一号设备采购包标准化研究	CNPE设备成套
材料采购优化	CNPE设备成套
设备国产化节约成本分析	CNPE设备成套
备品备件和工器具采购与供货模式优化	CNPE设备成套
钢筋网片施工	CNPE建造中心
安全壳施工优化	CNPE建造中心
华龙一号的标准化项目管理程序	CNPE项目管理部
1+N的一体化进度控制体系	CNPE项目管理部
华龙一号调试工期优化等	CNPE华东分公司

## 02 中核工程华龙一号在建项目设计优化

华龙一号

工程建设  
经验交流会议



响应集团“开展优化专题研究和应用”的工作部署，实施“**重大设计优化专题研究**”系列活动。



五大优化专项

随着多项**优化专题**不断推进和全面展开，华龙一号技术方案持续改进；形成了一次涉及全专业、多领域的**华龙机型再研发**。



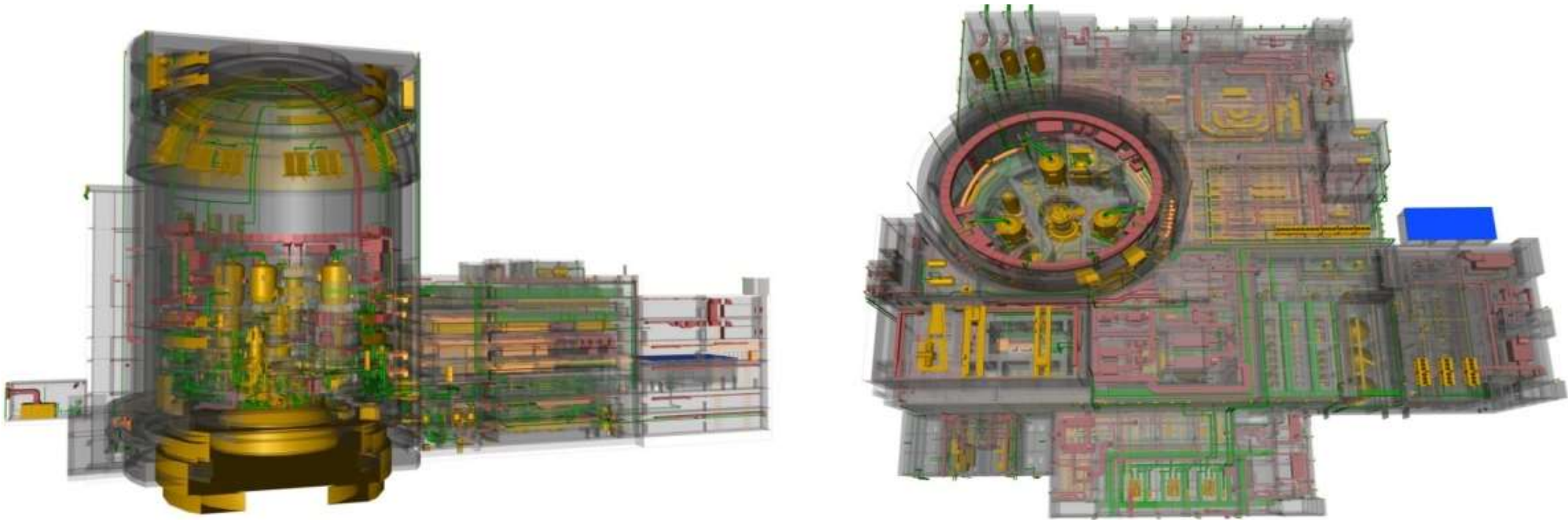
03

持续优化：中核  
集团华龙一号改  
进型机组



为进一步提升经济性，公司成立专项组特别开展“核岛厂房布置优化”专项，在此基础上，结合其他优化措施，特别推出了华龙新型号“华龙一号改进型核电机组(HPR1000+)”。

该型号以三门5、6号为项目依托，目前已进入施工图设计阶段。



# 03 持续优化：中核集团华龙一号改进型机组

**主要特征：**保持华龙总体设计准则、安全目标不变，以**布置优化**为重点，全面引入**数字化技术**和**先进建造技术**；适当简化**工艺系统**，全面提升“华龙一号”可建造性、经济性和市场竞争力。

## 经济性

重大设计优化专项

- 核岛厂房布置优化
- 重要辅助系统简化设计
- 机电一体化设备模块化开发

## 先进性

先进建造技术应用

- 便捷式轻量化集成单元技术
- 弯管使用率提升优化
- 土建结构模块化设计
- 先进焊接与无损检测技术

## 创新性

高性能设备研发

- 核电厂新型环形储罐的研制
- 核电厂重要设备性能提升研发

## 数字化

数字化技术应用

- 三维设计及配套全自动出图
- 核岛安装三维模型设计及应用
- 智能建造技术应用（BIM等）

## 标准化

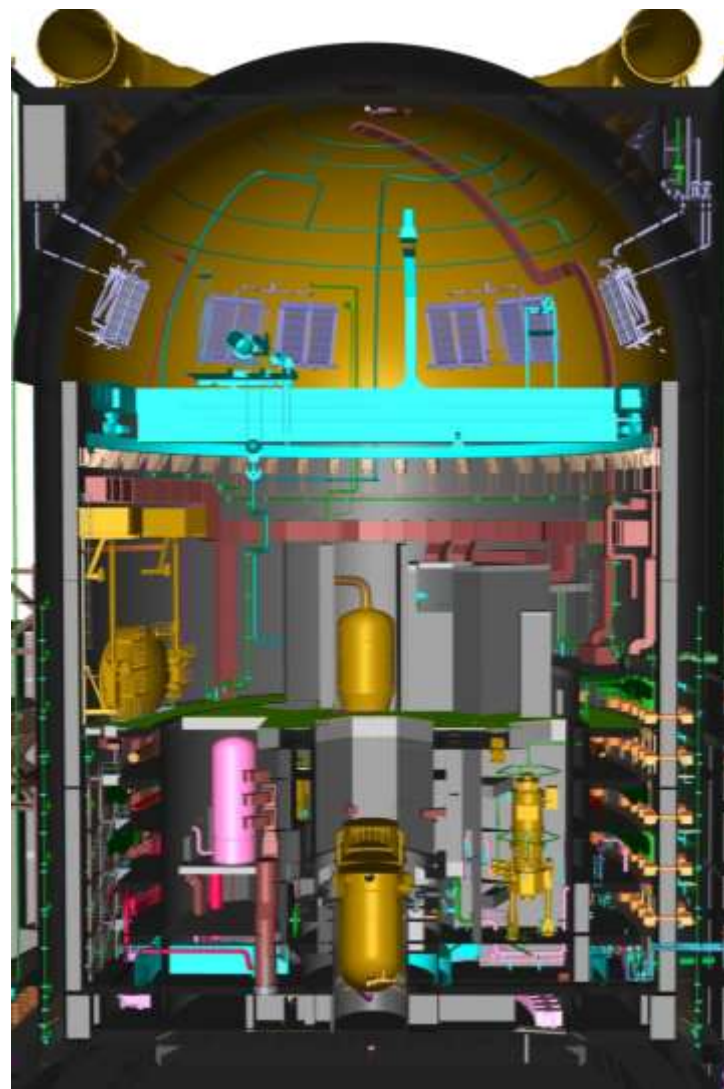
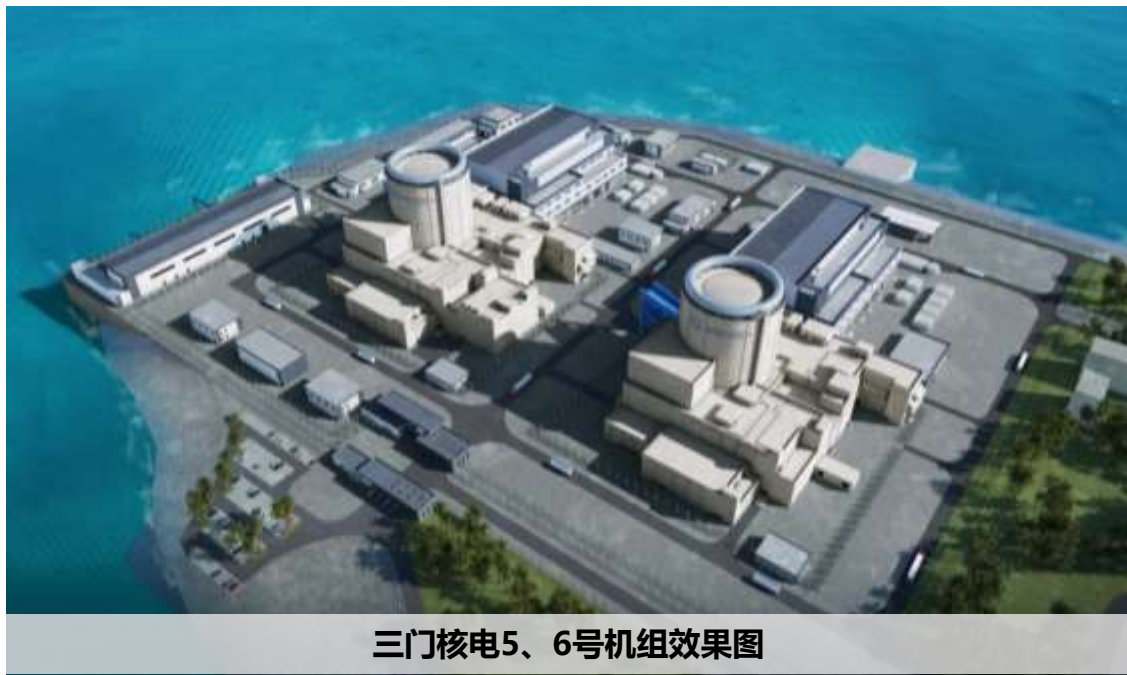
华龙一号改进型机组

## 03 持续优化：中核集团华龙一号改进型机组

华龙一号  
工程建设  
经验交流会议

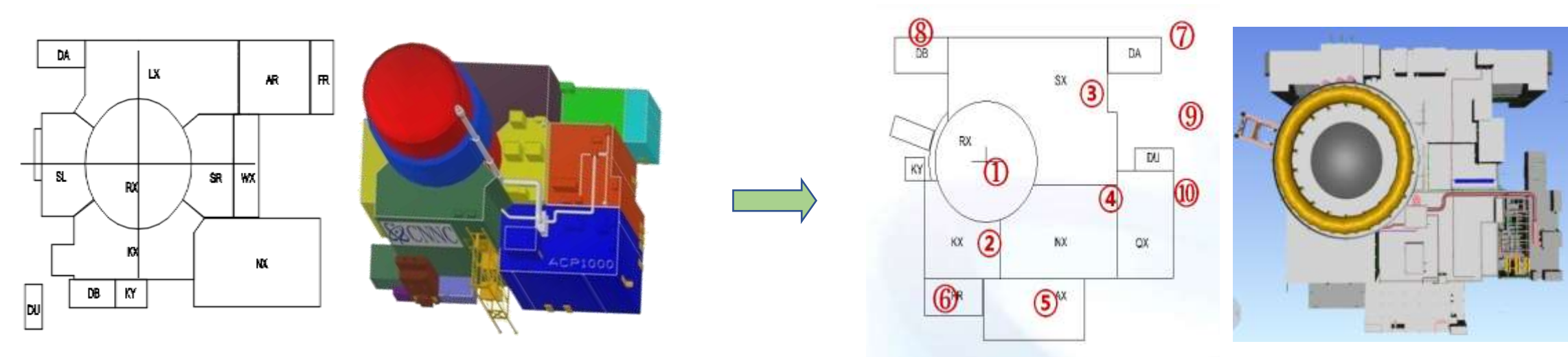
### 3.1 核岛厂房布置优化

厂房布局全面优化；布置设计合理、简洁；  
核岛总体积缩减至现有华龙的80% 以下。





## 3.1 核岛厂房布置优化

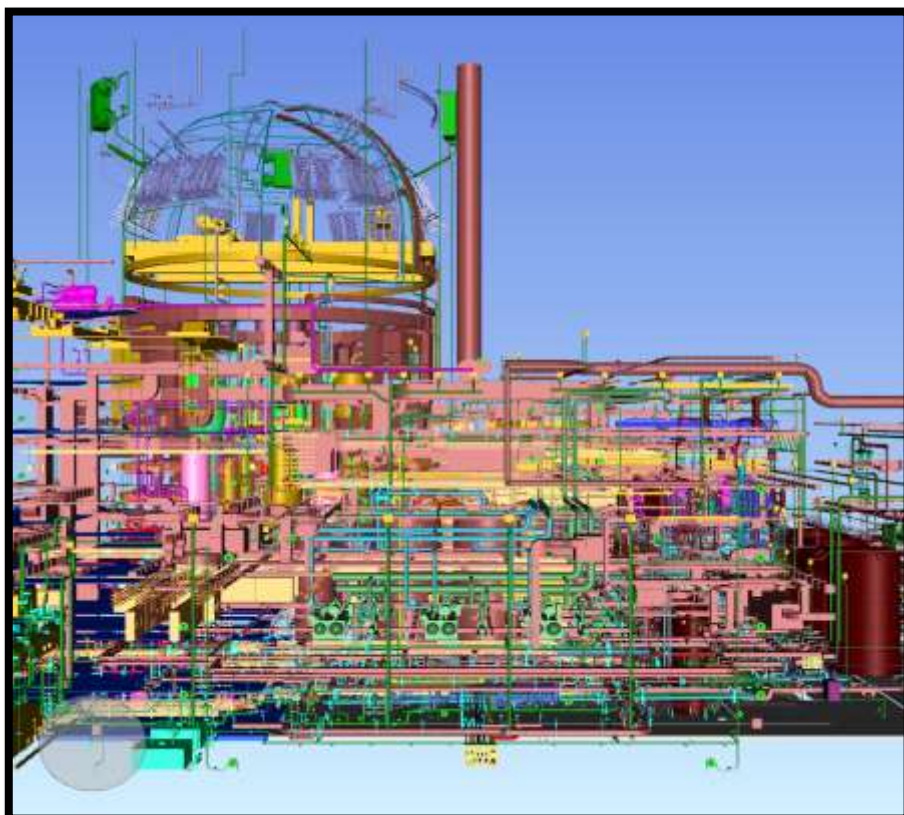
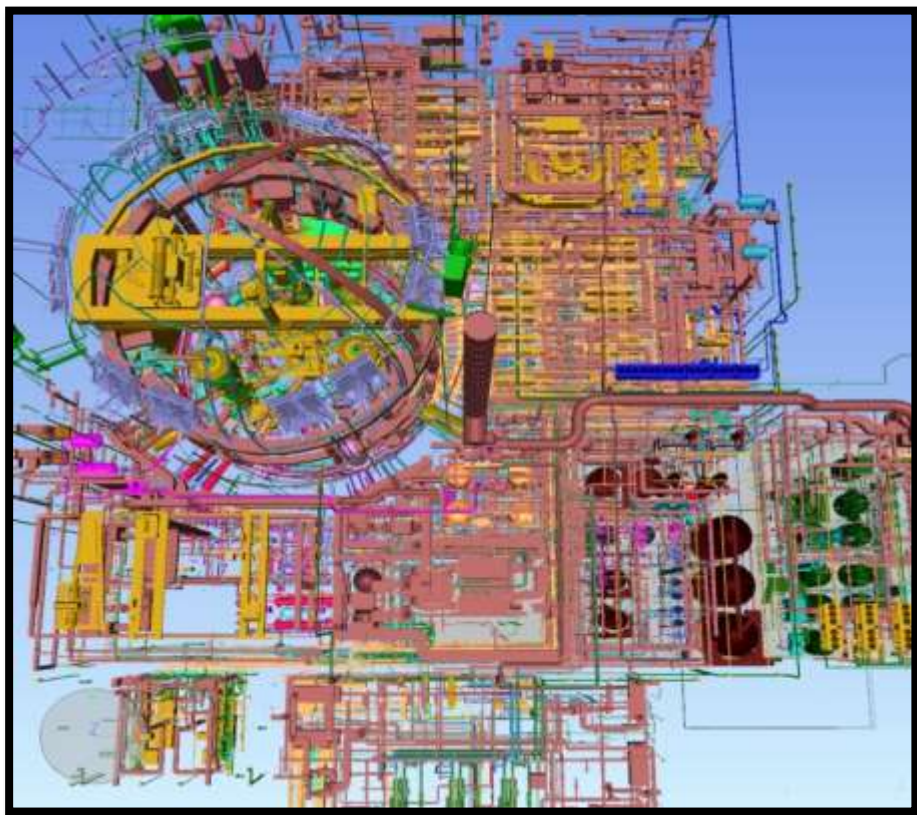


RX:反应堆厂房—①， KX:燃料厂房—②， SX:安全厂房—③， NX:辅助厂房—④， AX:附属厂房—⑤；  
 与漳州一致厂房：FR:消防泵房-⑥， DA/DB柴油发电机厂房-⑦⑧， SBO柴油发电机厂房-⑨， KP龙门架， KY应急压空子项。

	核岛建筑面积 (m <sup>2</sup> )	核岛混凝土量 (m <sup>3</sup> )	核岛电缆数量 (根)	安全壳容积 (m <sup>3</sup> )	安全壳内径 (m)	安全壳高度 (m)	堆腔注水箱位置	非能动水箱位置
华龙一号	103462	212403	30179	8600	46.8	76.28	壳内	壳外悬挑
布置优化	72102	158323	25502	约7200	41.8	72.15	外壳穹顶	外壳穹顶

## 3.1 核岛厂房布置优化

截止到2022年3季度结束，“华龙一号核岛厂房布置优化”（KY21008）已经结题，形成了一整套完整的**初步设计三维模型**，完成既定研发目标。



## 3.2 系统优化设计

### 6项重要系统优化设计：

TFA系统优化改进

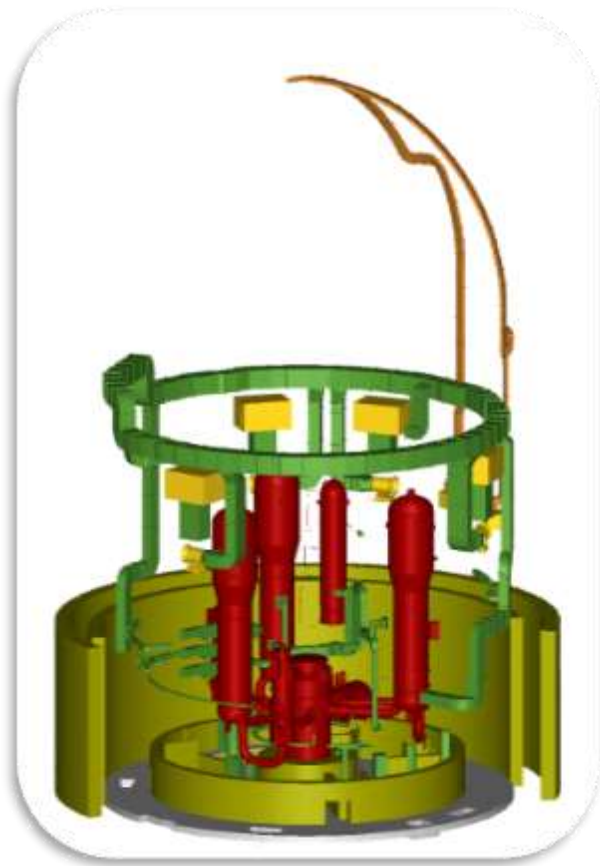
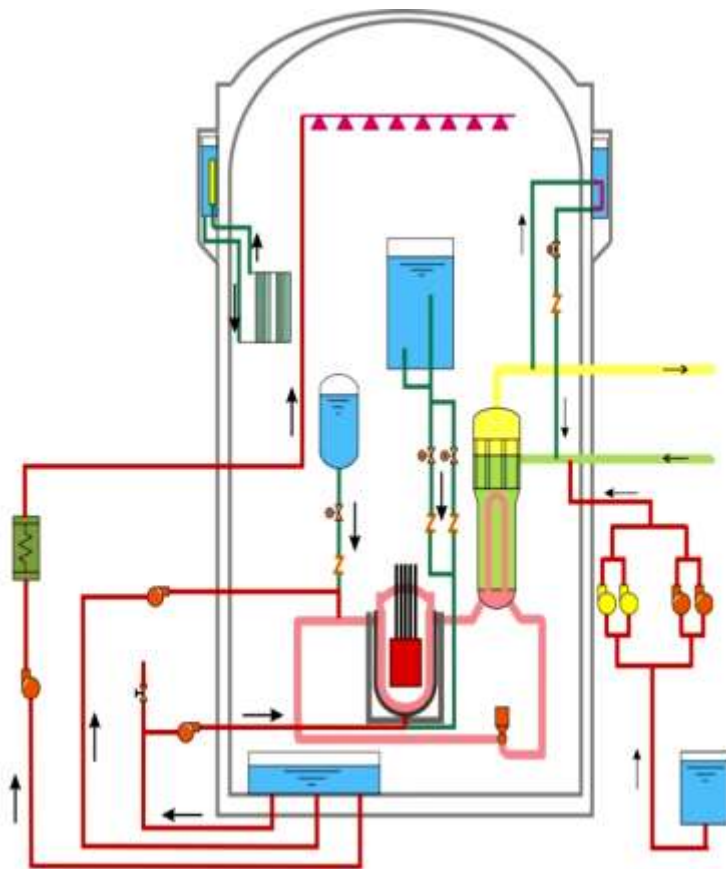
CIS、PCS系统组合优化

RSI水压试验泵系统简化

壳内通风系统整合

核岛消防综合优化

核岛冷冻水集成化（集中制冷）





# 03 持续优化：中核集团华龙一号改进型机组

## 3.3 先进建造技术研发与应用

### 机电一体化模块研究

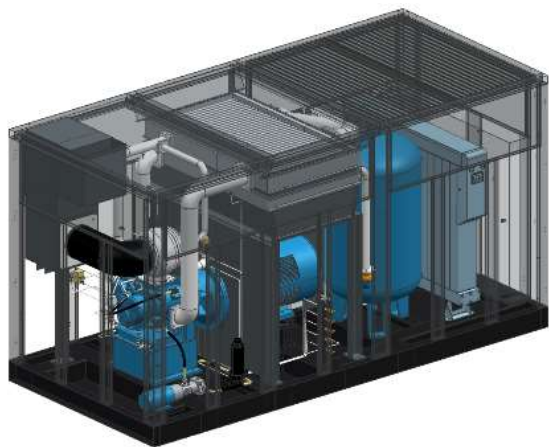
核电厂应急压缩空气系统模块

典型核岛消防设备模块

辅助蒸汽系统机械模块

壳内平台空调风机综合模块

壳内环廊±0m层共架机械模块



### 轻量化集成单元和弯管技术

#### 通过采用轻量化集成模块单元的研发：

提高工厂预制率和工厂焊接的比例，将工厂焊的比例大幅度提升，**目标为70%**。

#### 通过采用弯管技术研究应用及分析：

将核岛厂房弯管使用率大幅度提升，**目标为40%**。



### 先进焊接与无损检测技术

调动内外部资源，与建设安装单位签订合作框架协议，联合推动：

- 先进焊接（**焊接自动化**）；
- 无损检测（**相控阵超声检测**）：



## 3.3先进建造技术研发与应用

### 土建模块化

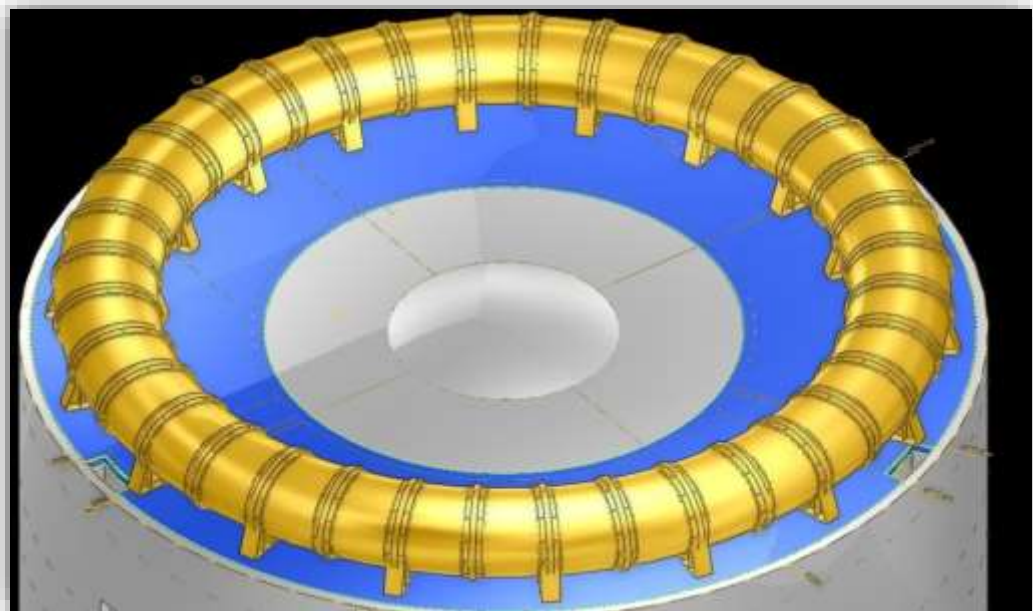
1	内部结构蒸发器隔间模块化及风道模块化
2	外壳穹顶及顶部水箱构筑物的模块化设计与施工
3	穹顶钢衬里及热交换器一体化设计施工分析
4	水池钢覆面的先贴法模块施工
5	廊道的模块化施工 选取综合技术廊道GB、电缆廊道的非核安全相关部分进行模块化设计施工的试点。
6	压型钢板和钢筋笼技术的使用



## 3.4 新型设备研发

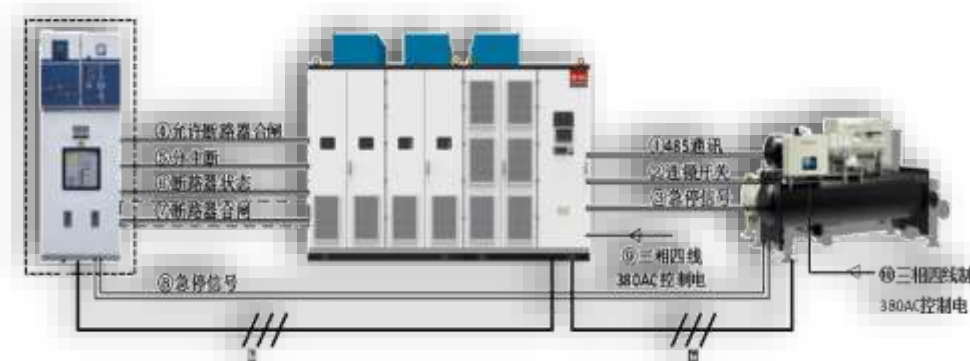
### 新型环形储罐研制。

- 代替原混凝土水箱；
- 现场预制、整体吊装、多线并行、建造时间优化；



### 大型机电设备采用变频技术。

- 冷冻水系统、循环水系统、暖通系统等；
- 耗能机电设备，联合研发，变频化改造；
- 降低运行成本。



### 燃料转运装置改进优化研制。

- 转运装置、转运容器、机械结构；
- 故障率降低，可靠性提升，关键部位优化：
- 水下摄像机，动态画面传传输，可视化操作等。



## 3.5 数字化技术应用

在实施核岛厂房布置优化方案的基础上，工程公司同步大力推进数字化技术应用，使两者有机结合。

### 领先的三维设计平台

- 率先使用，E3D软件平台，接轨国际先进，现代化的操作体验；

### 三维数字化模型交付

- 全面实现，数字化移交，顶层架构，交付标准，数字产品交付；

### BIM技术

- 运输模拟，吊装模拟，建造模拟，风险排查，指导项目管控；

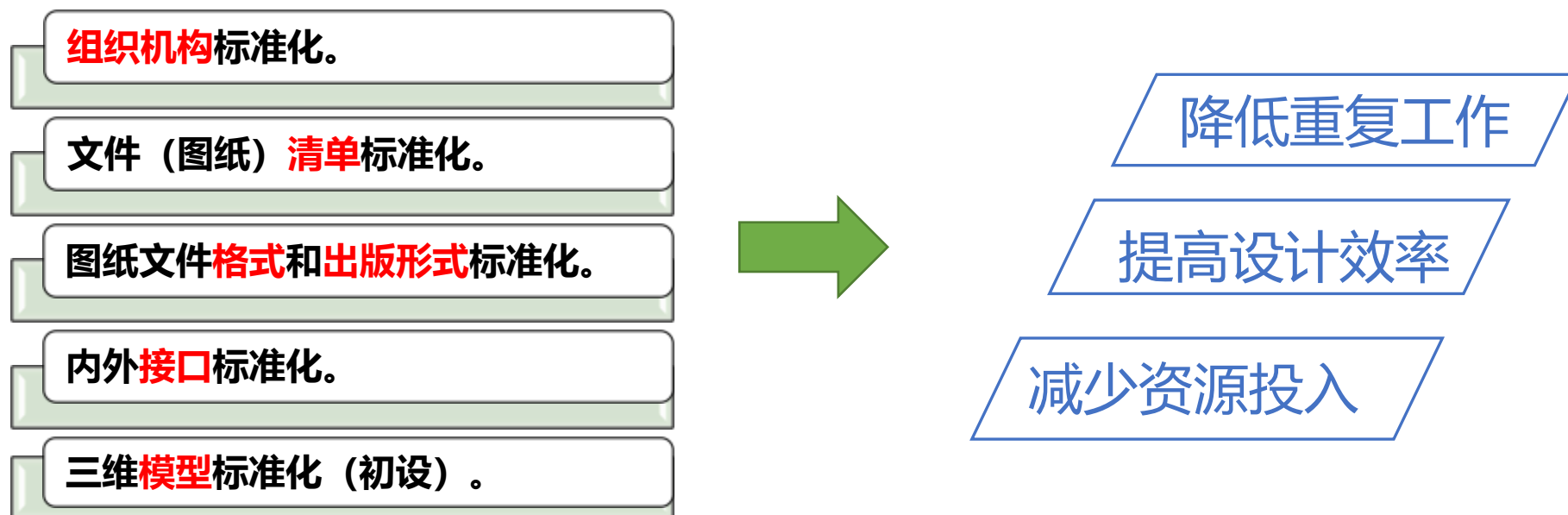
### VR技术

- 设计验证，设计体验，技术综合。



## 3.6 标准化设计

针对多项目开展标准化设计，对于同期批量化建设项目，核岛和部分BOP实现最大程度的设计标准化，具体措施如下：





# 04

华龙未来优化方向展望



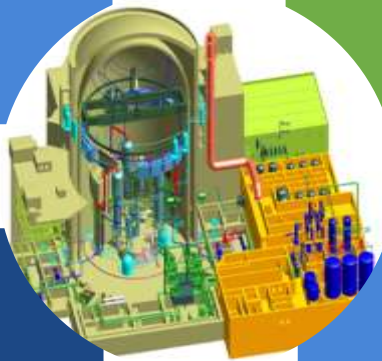
## 智能化技术、数字化技术进一步结合

让核电站全面  
可感可知

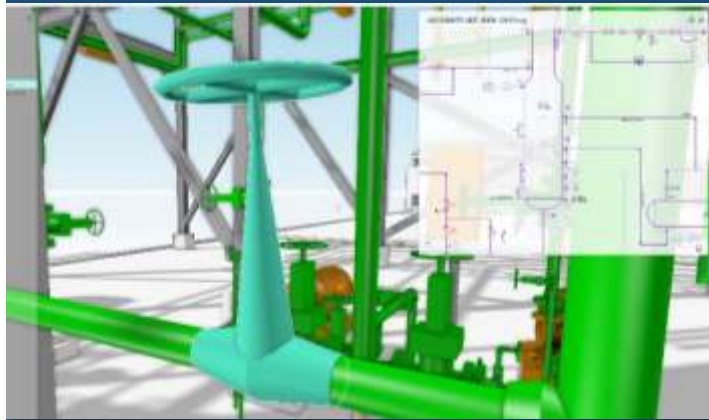
让核电少人高  
效运行

让核电具备智  
能决策的大脑

让核电与产业  
社会融为一体



4D施工进度模拟



多维数据智能关联

# 04 华龙未来优化方向展望

华龙一号

工程建设  
经验交流会议

产业数字化  
数字产业化

一个愿景  
两个目标



三个转型



四个协同



四大方向



五大支撑







### 基础支撑理论体系建立与应用

- 加大**基础研究**投入，提升**创新能力**；
- 聚焦**安全理论体系**研究，推动**准则规范**持续发展；
- **小核心、大协作**，延伸创新体系；



中核集团  
原始创新策源地



## 结束语

**华龙一号技术**持续优化与发展，后续还将在新材料、新科技、新理论等方面突破性发展，不断提升安全性与市场竞争力。华龙研发团队将努力践行“**强核报国、创新奉献**”新时代核工业精神，传承核工业人的初心与使命，为**建成核电强国，实现“双碳”目标、建设美丽中国**做出更大的贡献。



谢谢  
THANK YOU

