

# 报告3 设计应如何与供应方能力相匹配

**中国核电工程有限公司 霍小东**

**2022年08月23日**



一 先进核电发展及特点

二 设计推动施工技术发展

三 设计牵引装备制造产业升级

四 协调牵引与现状需兼顾考虑

五 总结

## 发展路线与未来应用场景

“积极安全有序**发展核电**”，“开展核能综合利用示范、积极推动高温气冷堆、快堆、模块化小型堆”，“推动核能在清洁供暖、工业供热、海水淡化等领域的综合利用。”

多堆型发展

大型压水堆

高温气冷堆

快堆

模块化小堆

...

多用途应用

热电联供

工业供汽

海水淡化

制氢

...



## 核电产业特点

- 生命周期长：百年工程
- 产业覆盖广：（几千家供应商，几万台套设备）
- 复杂巨系统：几百个系统，系统间耦合关系复杂，
- 核能产业科技含量高，是所在国家整个工业基础和科技水平的集中代表。
- 监管要求高，质量要求高，独特的核安全监管要求：对供应商的要求高





### 先进制造、建造工法的推动

- ◆ 模块化技术：比如，钢衬里模块化施工
- ◆ 先进施工技术：比如“核岛开顶法”施工，不锈钢覆面先贴法施工
- ◆ 先进检测技术：相控阵雷达、ACFM（交流电磁场技术）大大提高效率、精度和友好性



安全壳钢衬里模块化施工工艺



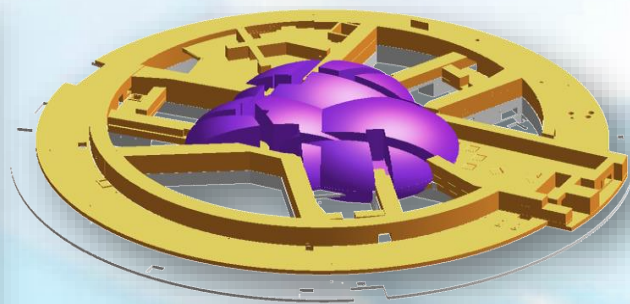
核岛开顶法施工

### 设计推动三维数字、智能化技术在施工中的应用

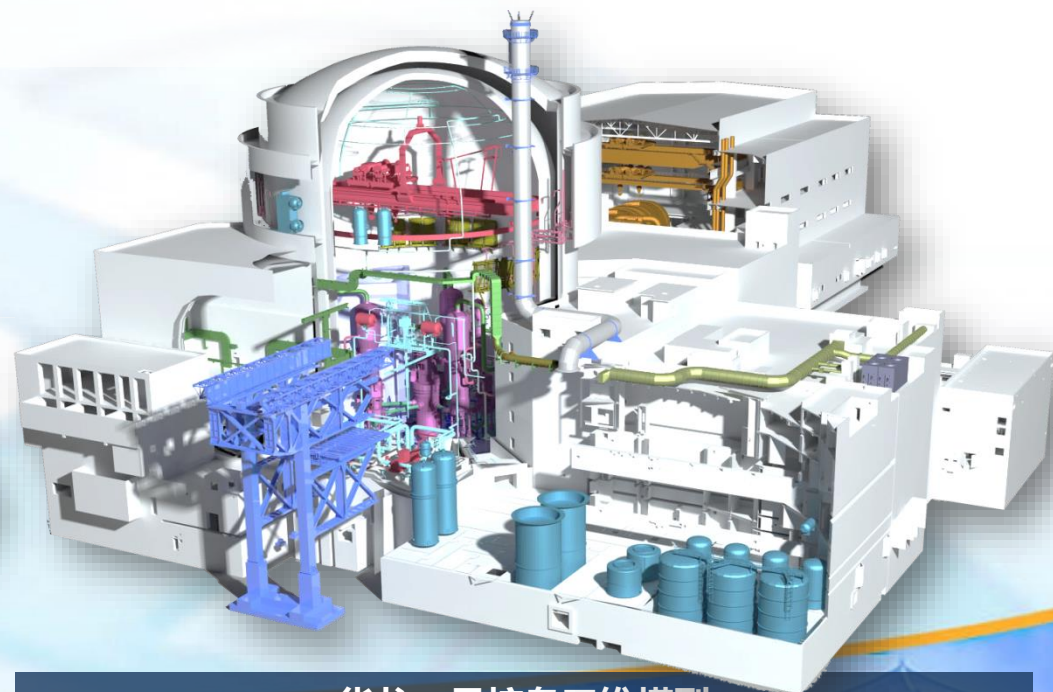
- ◆ 互联网三维协同设计：开发一体化三维设计平台，互联单位20余家、终端数量500多台
- ◆ 一体化设计施工建造：结构化数据表达、封装，实现数字电站交付及全寿期数据共享
- ◆ “互联网+”为电厂数字化的精细化采购、施工管理、安装调试、电厂运维、模拟验证提供基础



运输吊装三维模拟



事故工况三维模拟



华龙一号核岛三维模型



## 二、设计推动施工技术发展

智能核电厂建立在数字核电厂的基础之上，利用数字化建设中积累的数据和基础设施，通过人工智能算法和产品并结合**5G、物联网、机器人**等技术，实现对应的**智能化功能**，提升电厂施工建安过程的安全性、经济性和后续运营便利性。



### 先进设计推动施工建安技术**持续发展**

先进焊接技术效率高，焊缝质量高，降低施工难度，有利于批量化安装，进一步缩短施工周期

安全壳钢衬里MAG自动焊替代手工焊  
热丝TIG自动焊

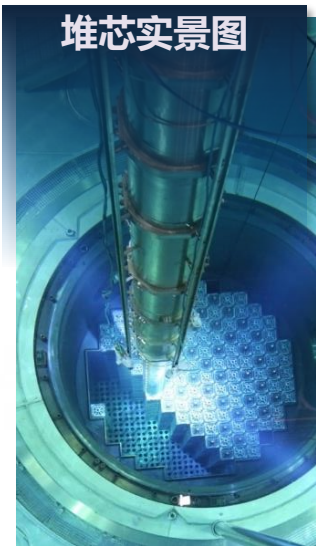


先进无损检测技术的研究和应用-替代射线检测技术，降低人员受辐射风险

ACFM 交流电磁场测量法 检测技术  
PAUT相控阵超声波检测技术



## 三代自主化压水堆“华龙一号”先进设计十大成果

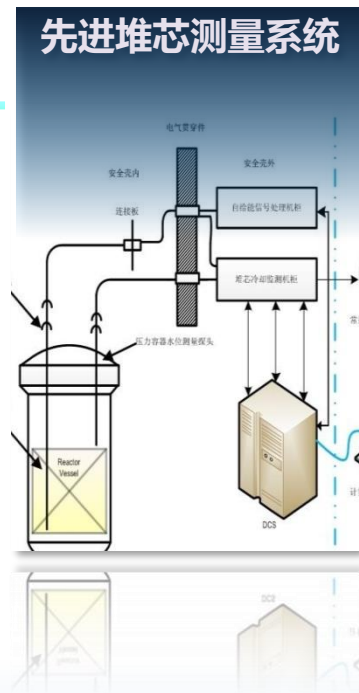


- 1、177堆芯设计
- 2、自主化CF3燃料组件
- 3、能动加非能动安全设计特征
- 4、创新的核岛与安全壳设计
- 5、核心设备自主化



- 6、在高度信息化技术支持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

先进成果近一半与装备制造升级有关



## 先进设计全面推动设备自主化，华龙一号带动高端装备制造产业转型升级

- 设备供货厂家涉及5300多家，共计6万多台套
- 突破大型锻件制造、材料辐照脆化控制等核心技术，研制新型反应堆压力容器、ZH-65型蒸汽发生器、非能动系统设备等，实现411台核心设备自主化



汽轮发电机组



燃料组件



环吊



主蒸汽隔离阀



压力容器



蒸汽发生器



装卸料机



### 先进设计牵引装备制造产业升级持续发展 (1)

- 通过先进设计，不断采用新材料、新技术、新工艺，带动装备制造产业集群升级，形成新机械、新电气、新仪控等一批先进装备。





### 先进设计牵引装备制造产业持续升级发展 (3)



#### 耐事故燃料(ATF):

大幅提升燃料的事故耐受能力，目前国际最先进的燃料研发方向。

耐事故燃料的主要设计改进均着眼于革新的包壳（涂层、先进的钢、碳化硅等）和新型燃料（添加剂、U-Si-N、 $U_3Si_2$ 等）。



#### 百吨级球墨铸铁乏燃料运输容器

2022.7完成力学试验，降低容器成本和周期，为有力保障核能循环全周期的燃料运输安全性奠定基础，打破国外垄断

### 先进设计牵引装备制造产业升级持续升级发展 (5)

#### 耐辐照芯片：

智能型仪控设备研发与应用的关键环节，为智能设备的应用和算法提供高效的支持，对器件、电路、工艺和材料提出需求。



#### 重要设备网络化诊断监测：

利用网络化高速采集技术从设备早期运行检测、故障预防和健康管理的角度进行统筹考虑，实现大量动态缓冲测量数据实时采集和故障分析，确保机组的运行安全稳定性。



设计牵引先进装备制造**案例2**：设计联合供方攻克第四代核电**关键核心设备**-支撑环

**反应堆底座，需耐受高温高压高辐射严酷环境，且60年不能更换，一体化成形确保高强度**  
**2022.7成功制造外运，打破国外技术垄断，自主化大幅提升经济性**  
**中国原子能科学研究院 和 山东伊莱特公司 联合攻关**





## “小核心、大协作”先进设计牵引装备制造升级的机制和模式

通过设计、接口标准化、优化供货和制造流程，便于成熟设备批量化供货

通过仿真验证和跨行业应用，促进高新技术孵化、技术成果转化和工程应用



构建生态圈（联合实验室，产业联盟），增进设计和供方了解，双向匹配需求，促进设计和供方形成技术突破

以核能出口为牵引，带动国内产能出口，提高全球装备制造供应能力和产业升级

设计协调牵引先进制造，需**兼顾现状**，包括：

- 安全性因素 先进制造引入必须以核能安全发展为前提，充分验证，成熟技术
- 经济性因素 先进制造需提升经济性，体现优势
- 进度因素 工程应用以质量为基础，以进度为保障
- 政策因素 宏观环境

因此，先进制造的工程化落地并非一蹴而就，是一个**逐步迭代、验证和长期实践**的过程。



### 宗旨是保证核能有序、高效、高质量、可持续发展



- 在全球趋势和双碳背景的新环境为核能发展提供了新机遇，将从多堆型、多用途等方向快速高质量发展。
- 目前核能发展已经获得一定成绩，实现了一批高端设备自主化。随着核能不断发展和技术迭代，设计还将持续推进建造、安装、调试、制造、运维等产业集群转型升级。
- 通过强化合作，进一步促使先进设计和先进制造、先进建造之间互补互建，协同高质量发展。
- 同时也要兼顾现状，保障产业安全、健康、有序、稳步提升。





谢谢!