



# 主设备预引入法在华龙批量化应用 首堆项目上的应用

中核国电漳州能源有限公司

宋丰伟

2022.09



# CONTENTS

**01** 漳州能源公司简介

**02** 核电项目基本情况

**03** 主设备预引入法应用  
介绍

**04** 结 语



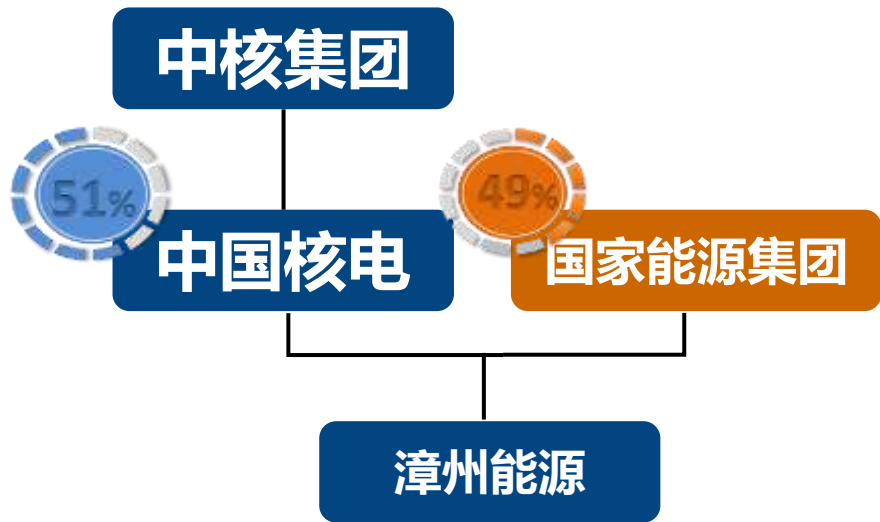
# 01 漳州能源公司简介



01

# 公司简介

## 基本情况



漳州能源隶属于中核集团，由中国核电和国家能源集团按**51%、49%**的股比于2011年11月28日出资成立。负责漳州核电项目和云霄抽水蓄能电站项目的开发和生产，配套发展风电、光伏等多种清洁能源。

中国第一颗  
原子弹



中国第一颗  
氢弹



中国大陆第一座核电站



中国自主第三代核电技术“华龙一号”示范工程

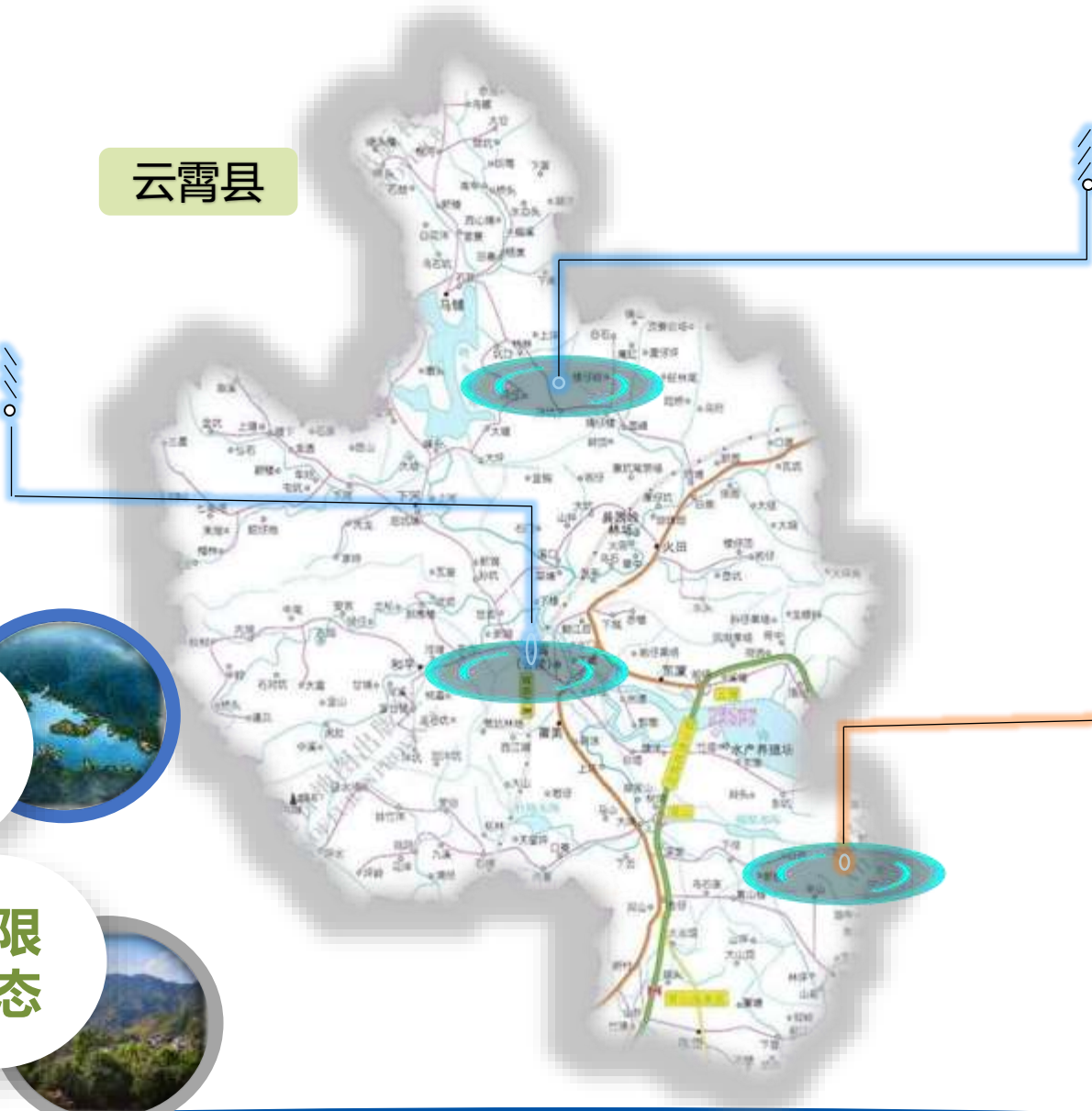


“华龙一号”批量化建设示范首堆工程



**华龙科技文化园**  
打造集科技创新、科普宣传、技能培训、人才公寓于一体的综合体建筑

云霄县



## 云霄抽蓄项目



## 漳州核电项目

规划建设6+2台百万千瓦级“华龙一号”机组



国之  
华龙



兼容  
并蓄



处处  
风光



无限  
生态



# 02 核电项目基本情况





### 三代技术标准

满足国际国内先进安全标准：“华龙一号”的两个概率安全指标（堆芯熔化概率 $<10^{-5}$ /堆年；大量放射性释放概率 $<10^{-6}$ /堆年），完全满足我国最新核安全法规、HAF102和美国URD以及欧洲EUR等三代用户要求文件的指标。



### 三大技术特色

- 177堆芯
- 单堆布置
- 双层安全壳



### 三套能动+非能动系统

- 能动+非能动的二次侧余热排出
- 能动+非能动的安全壳热量导出
- 能动+非能动的堆腔注水冷却



### 三个能力提高

- 抗震与抵御外部事件能力提高
- 抗商用飞机撞击能力提高
- 电厂的事故应急能力提高





项目规划建设6台华龙机型核电机组，并留有扩充两台核电机组建设的位置，7、8号机组已与漳州市签订合作协议。

### 1号机



1号机组于2019年10月16日开工建设，计划于2024年建成投产。

### 2号机



2号机组于2020年9月4日开工建设，计划于2025年建成投产。



厂址原貌



厂址现状



漳州核电厂址原貌  
2013-12-5



1号机组正式开工  
2019-10-16



1号机组核岛主设备预引入  
完成2021-10-25



1号机组内穹顶吊装就位  
2021-10-27



1、2号机组获批核准  
2019-01-30



2号机组正式开工  
2020-09-04



2号机组核岛主设备  
引入完成2022.08.22



2号机组内穹顶吊装就位  
2022-08-23

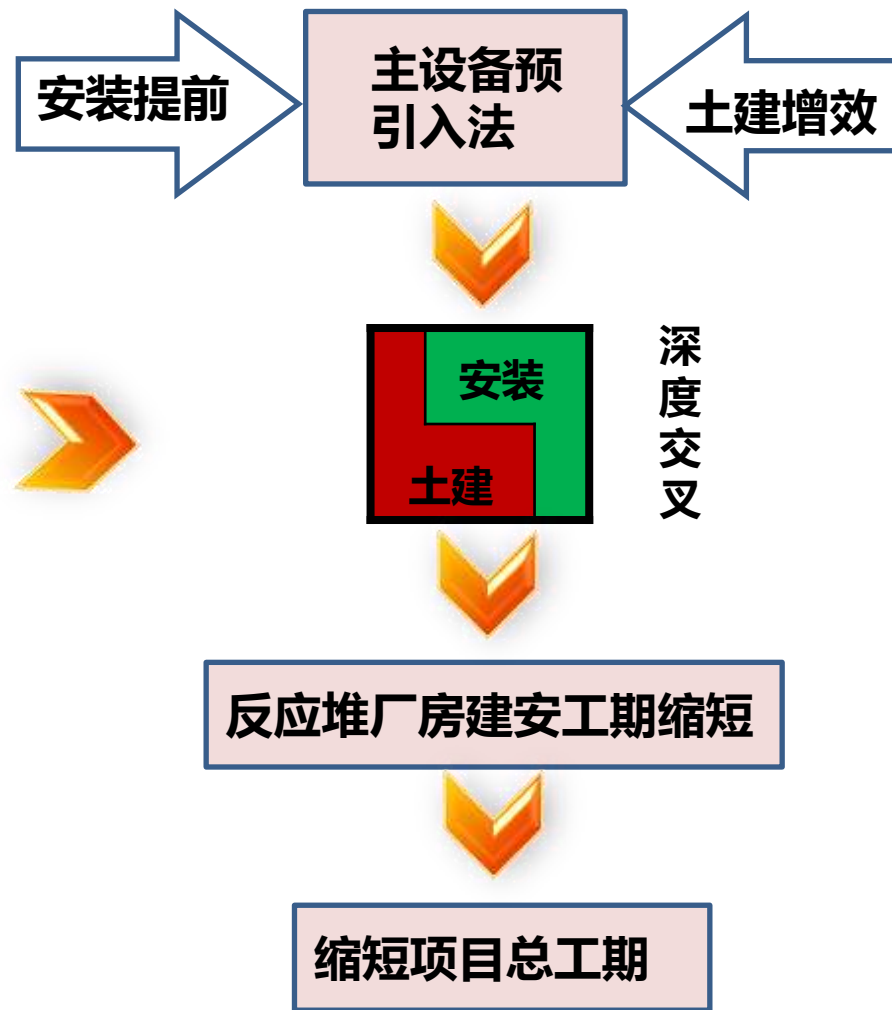


**03**

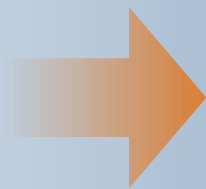
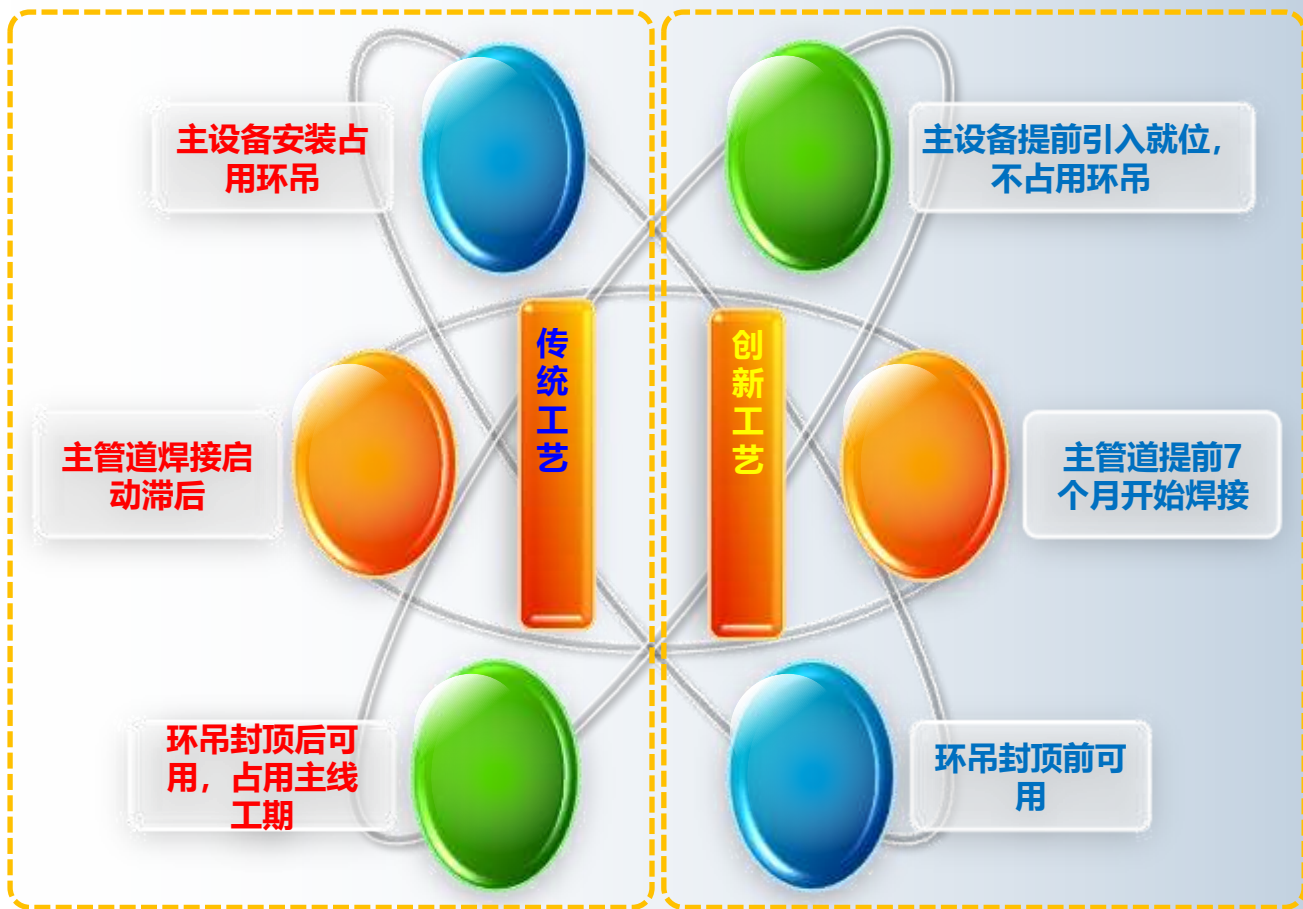
# 主设备预引入法 应用介绍



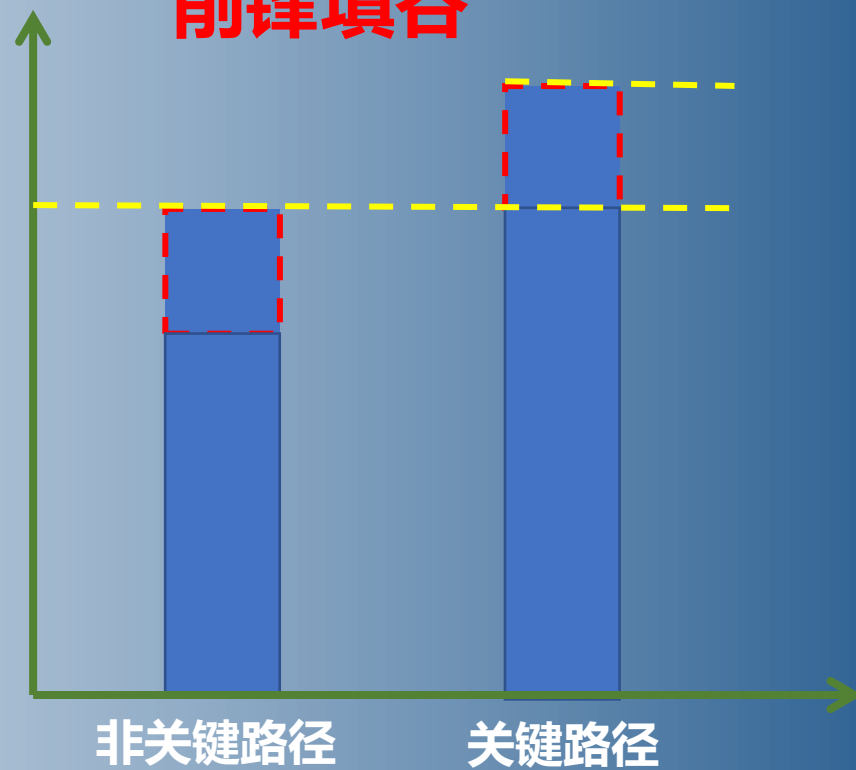
# 03 主设备预引入方法



## 03 主设备预引入方法



### 削峰填谷



- 采用主设备预引入法：主设备就位不涉及龙门架、450吨龙门吊、水平通道、重轨、重载小车、环吊，水平钢平台等。

## 首次全范围实施 主设备先行引入技术

压力容器及顶盖

蒸发器

主泵泵壳

土建  
安装  
交叉  
施工

稳压器

主管道和波动管

垂直支承

蒸汽发生器吊装对比

	传统方法	创新方法	对比
蒸发器翻转	16.5m平台翻转	场外采用新型支架翻转	采用新型支架操作方便、优化施工效率
吊装工具	龙门吊、环吊	3200t吊车	吊装过程中无需二次挂钩，提高施工效率
单台工期	15天	2天	大幅减少单台蒸发器吊装时间
总工期	45天	5天	整体吊装工期较传统方式缩短工期5倍以上

反应堆厂房内翻转  
(传统法)

蒸发器厂房外翻转

## 压力容器吊装对比

	传统方法	创新方法	对比
压力容器翻转	16.5m平台 翻转	场外采用新型一 体化翻转支架	采用新型一体化支架操作方便、 优化施工效率
吊装工具	龙门吊、环 吊	3200t吊车	吊装过程中无需二次挂钩，提高 施工效率
单台工期	12-15天	2天	大幅减少单台压力容器吊装时间
总工期	15天	2天	整体吊装工期较传统方式缩短 工期5-7倍以上

压力容器反应堆  
厂房内翻转

压力容器厂房外翻转

主设备安装施工不再受制厂房封顶、环吊/龙门吊、翻转平台等条件。提前8个月主设备安装就位，实现主管道提前7个月焊接，将传统主关键路径变成非关键路径，漳州核电项目首次实现**全部主设备（18项）**先行引入施工，开发了基于主设备预引入法的核电厂**建造衍生集成技术**。





## 主设备预引入法集成技术



“1+14” 新工法



- 有效提升施工质量
- 显著缩短项目工期
- 降低作业安全风险
- 大幅提升经济效益

# 03 主设备预引入法衍生集成技术

## 不锈钢水池模块化



内置换料水池模块



堆腔存放水池模块



堆腔换料水池模块



堆腔注水箱模块



## 03 主设备预引入法衍生集成技术

### 不锈钢水池模块化

#### 1、缩短工期

混凝土施工与钢覆面施工同步完工，减少施工工序



#### 2、车间预制

将90%的现场安装工作前置到车间，减少现场施工作业量，提高施工质量和安全



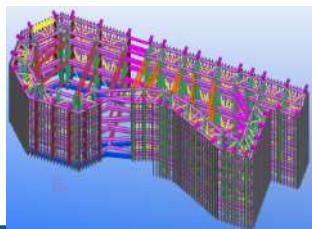
#### 3、引入智能化设备

引入先进的激光数控下料加工设备，采用等离子弧自动焊和热丝TIG自动焊等焊接新技术



#### 4、减少探伤时间

在反应堆厂房内穹顶吊装前完成不锈钢覆面的施工，再车间完成探伤工作，减少现场探伤时间



#### 5、避免争夺环吊资源

不锈钢水池模块施工，通过场外履带吊车吊装就位，减少使用环吊资源



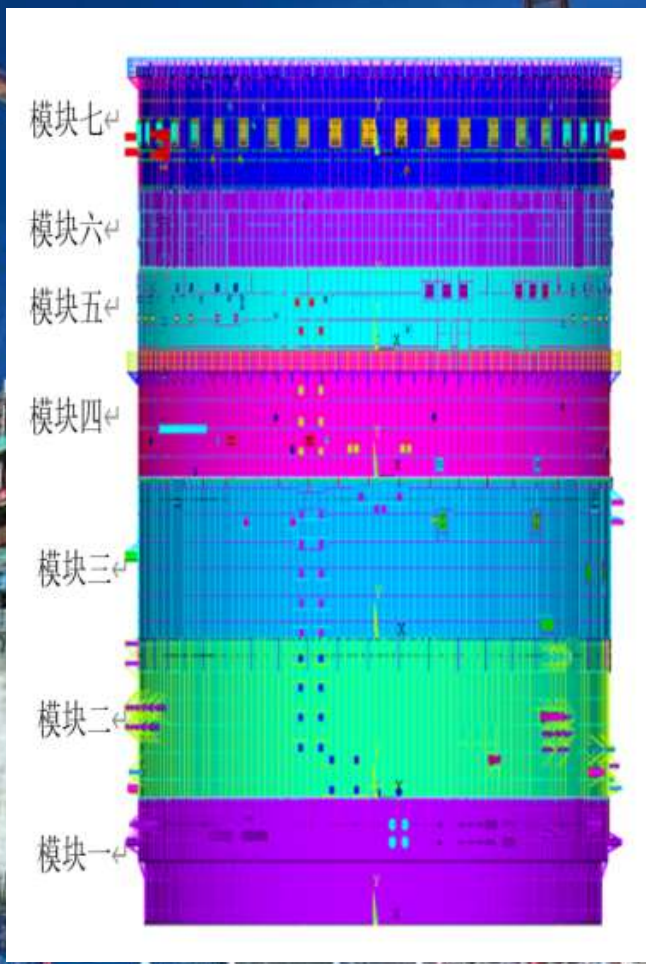
#### 6、改善施工环境

将90%的现场安装工作前置到车间，现场焊接打磨等作业减少，减少烟尘的产生，改善作业环境



# 03 主设备预引入法衍生集成技术

## 钢衬里全模块化建造



首次实现环吊牛腿与钢衬里筒体整体模块化建造



首次实现PCS支架与钢衬里整体模块建造



钢衬里传统施工工艺

钢衬里全模块化建造工艺

## 03 主设备预引入法衍生集成技术

### 钢衬里全模块化建造

模块化率42.8%提升至100%

牛腿与钢衬里7段组成模块，为环吊就位调试、主设备预引入创造条件

PCS支架与钢衬里5段组成模块，PCS提前引入，免去反应堆厂房内部脚手架搭设

模块化施工减少对内部结构施工的干涉

主要优点

减少现场焊接量，车间模块化施工提高焊接质量，改善施工环境

有利于外筒体的施工，从而加快周边厂房快速施工创造条件

模块化施工减少高空作业，节省吊车资源

## 环吊整体吊装施工工艺



环吊轨道梁整体吊装



环吊桥架整体吊装



桥架与工作小车地面联合调试

## 环吊整体吊装施工工艺

- 1、支持主设备预引入方法，配合主设备就位；
- 2、减少对内部结构施工的干涉；
- 3、反应堆厂房封顶前，实现环吊可用，提升安装效率；
- 4、环吊在地面完成90%的拼装工作，提高施工效率，减少高空作业，保证施工安全；

## 03 主设备预引入法衍生集成技术

### 新型一体化新型翻转装置



一体化新型翻转装置利用重力杠杆原理和液压平衡原理，使主设备在翻转过程中与一体化新型翻转装置形成整体，无需固定措施即可保持“贴合”状态。



压力容器和蒸汽发生器翻转工装采用同一个翻转板，可以同时满足压力容器和蒸汽发生器翻转要求弧形，提高了翻转工装的适用性和经济性。



制造简单、成本低廉，使用方便。较传统的固定支架翻转方式，显著提高了效率和安全性，降低劳动强度，减少人因失误。

## 03 主设备预引入法衍生集成技术

### 新型一体化新型翻转装置

### 多用途应用



**主设备预引入应用：**漳州核电一期工程已经成功应用新型一体化新型翻转装置实现7天完成压力容器与3台蒸汽发生器的引入工作



**传统施工应用：**通过技术与论证，新型一体化新型翻转装置可以在反应堆厂房16.5m层应用（压力容器和蒸汽发生器）。详见视频介绍



**运行检修应用：**机组运行期间如果需要更换蒸汽发生器，新型一体化新型翻转装置可以提供一种新的更换方法。



## 03 主设备预引入法衍生集成技术

### 主设备垂直支承整体吊装技术



主泵垂直支承整体吊装



蒸发器垂直支承整体吊装

### 主设备垂直支承整体吊装技术

采用场外拼装，施工场地大，可以同时拼装多个环路的垂直支承；  
采用整体吊装，提高了吊车的利用率，从传统的吊装21次，缩短至6次；  
采用整体吊装，提高了施工效率，减少4天工期。

## 03 主设备预引入法衍生集成技术

### 首次研发并应用蒸汽发生器间大型钢筋笼模块建造技术



预制钢筋模块吊装

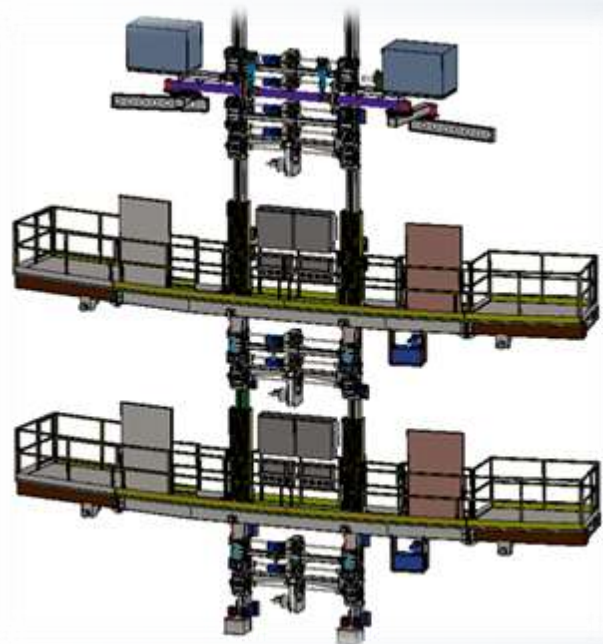
### 蒸汽发生器间大型钢筋笼模块建造技术

采用预制钢筋笼技术措施将钢筋工程施工逻辑由“串行”转化为“平行”，仅用6天就完成核岛内施工，缩短钢筋工程施工周期；优化了核岛施工环境，释放了塔吊资源。

## 03 主设备预引入法衍生集成技术

### 预应力施工双平台

漳州核电预应力施工启用耦合自行式双平台，通过在扶壁柱区域搭设上、下双平台、增加施工操作面，为环向预应力施工创造了双倍工作面，功效提高50%，在确保安全质量的基础上，预计较传统预应力单层平台工期缩短2.5个月，为后续机组NCC和安全壳打压试验创造了条件。



## 自动化设备研发应用

通过自主研发和引入先进的激光数控下料加工设备、自动化组对（立）设备，采用等离子弧自动焊、热丝TIG自动焊、穿孔机器人塞焊、磁吸无轨MAG自动焊、厚壁管道自动焊接等焊接新技术，车间自动焊焊接一次合格率达99%以上，其中1号机组主管道自动焊一次合格率达**100%**。以等离子弧自动焊为例，不锈钢覆面单面焊双面成型，焊接效率较传统手工焊**提高7-9倍**。



厚壁管道自动焊



磁吸无轨MAG自动焊



穿孔机器人塞焊



热丝TIG自动焊技术应用和焊接效果图



等离子弧自动焊技术应用和焊接效果图



# 03 主设备预引入法衍生集成技术

## 自动化设备研发应用

在安装方面，各专业全面尝试自动焊施工，准备将主管道国产自动焊机在国内率先投入使用。



主管道国产焊机自动焊



通风风管法兰焊接



主蒸汽管道自动焊



电气盖板自动焊

## 03 取得的成效

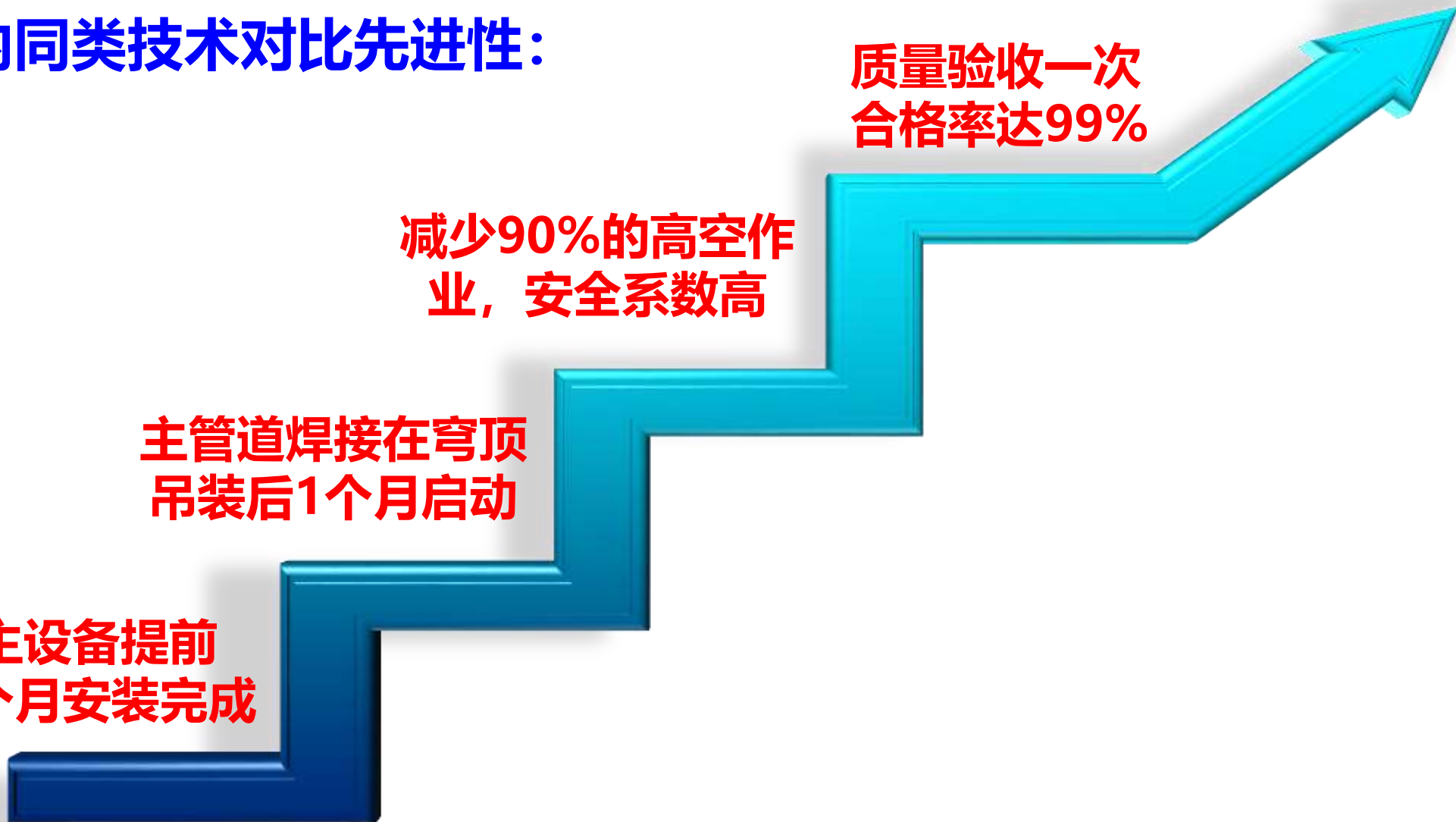
与国内同类技术对比先进性:

主设备提前  
8个月安装完成

主管道焊接在穹顶  
吊装后1个月启动

减少90%的高空作  
业, 安全系数高

质量验收一次  
合格率达99%



## 总体技术水平达到国际领先水平

优化工期、施工质量、安全贡献明显

1号机组56个月目标总体可行



广泛的应用前景

具有显著的经济、社会效益

系统性、创新性强

## 03 取得的成效

7个月

降低核岛工程建造工期风险，**提前7个月开始主管道焊接**，主回路工作能够提前完成，为总工期缩短创造了条件。

安全质量

改变传统核电施工逻辑，主回路工期裕度增加，为主回路安装质量安全管控创造了良好条件，**进一步降低安全质量风险。**

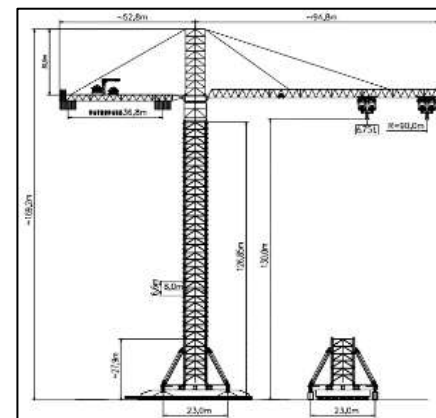
模块化

钢衬里全模块化、不锈钢水池模块化、环吊整体吊装等施工方式，高空作业改为地面作业，施工效率增加、安全质量风险降低，**并为后续工厂化预制积累了经验。**



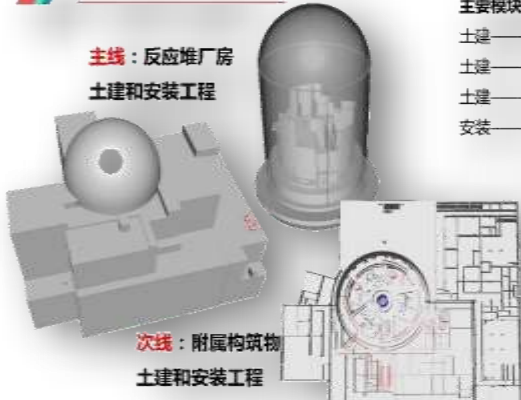
# 03 创新打造重塔工程，纵深推进模块化

漳州能源深化应用主设备预引入法、模块化施工，创新打造重塔工程，进一步扩大模块化施工进度，提升建造技术，旨在突破“华龙一号”四大控制水平提升瓶颈。



## 厂房设计—模块化

主线：反应堆厂房  
土建和安装工程



次线：附属构筑物  
土建和安装工程

### 主要模块化措施：

- 土建——堆坑钢筋笼
- 土建——内部结构墙体主模块（钢板混凝土）
- 土建——局部单钢板模块
- 安装——适当机械模块（RVD水箱模块）

### 主要模块化措施：

- 土建——规模化钢筋笼
- 土建——适宜区域免拆模板体系
- 土建——水池壁面先贴法
- 安装——规模化预制（轻量化预制）
- 安装——局部设备模块（集成压空等）

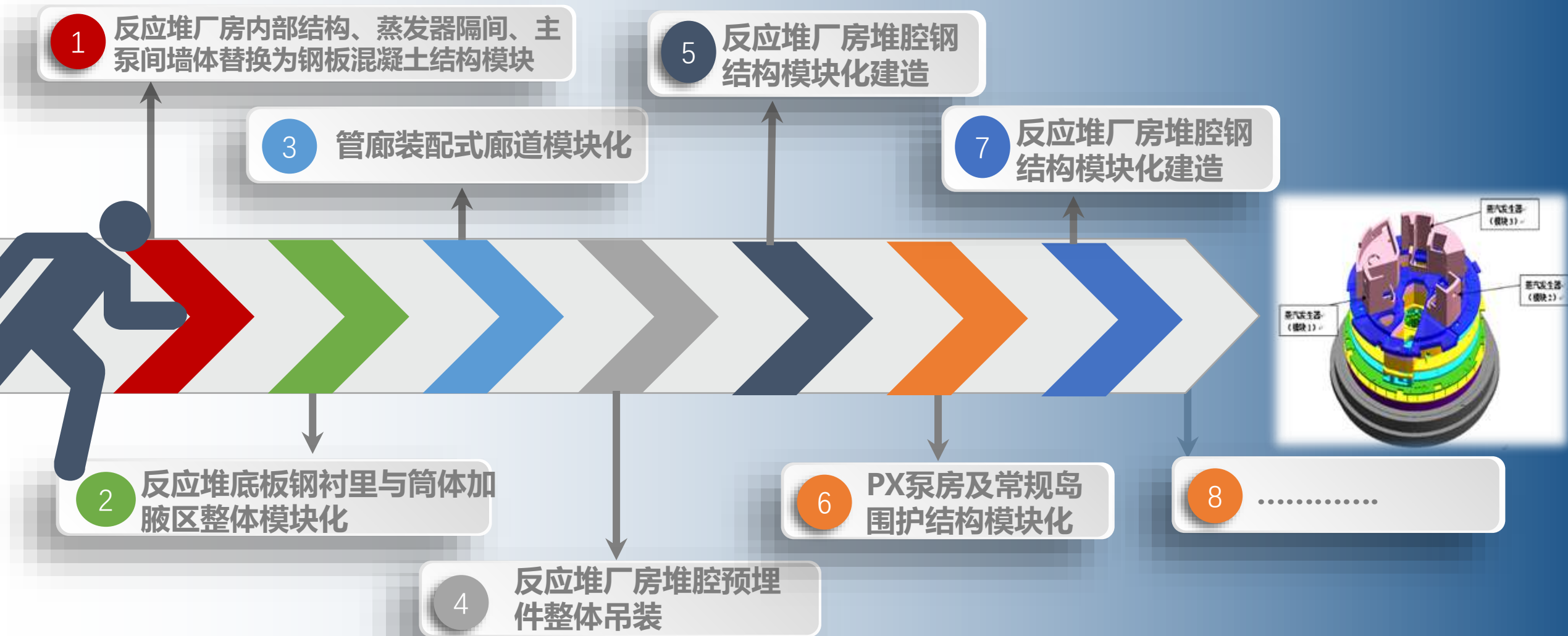
□重塔应用对集约、节约用地大环境下的核电建设适用性强

□扩大模块化施工进度已成为后续核电建设的“不二法则”

□“华龙二号”厂房更为紧凑，应用了更多模块化技术。重塔的成熟应用能更大地促进华龙后续机组高质量发展

□在助力核电智能建造、优化工期等方面作出更大贡献

# 03 创新打造重塔工程，纵深推进模块化





7、8号机组开拓创新  
(2025年列入“十五五”  
开工备选项目)

3、4号机组持续进阶  
(2022年核准-2023年开工)

- 工期56个月
- 形成批量化建设  
经验总结

5、6号机组追求卓越  
(2023年具备核准条件)

- “华龙二号”首堆应用
- 安全和技术先进性领先
- 工期48个月
- 造价1.3万元/kW

1、2号机组强基固本

(2019.10.16开工-2024年首台投产)

- 工期60个月，争取56个月。
- 十四五期间建成投产
- 创国家优质工程

华龙批量化建设基地卓越之路



**03**

**结 语**



漳州能源将积极践行“拼搏、敬业、安全、创新、共赢”的工作理念，坚定不移的开展创新工作，继续秉持敢于担当、勇于创新的理念，在核电建设中持续进行技术总结和经验反馈，大胆设想，小心求证，在保障质量安全的前提下，不断优化施工工艺，提高竞争力，为中国核能事业的高速发展添砖加瓦！



谢谢

THANK YOU

