



华龙一号施工工艺与技术创新专题交流

中国核工业二四建设有限公司

2022年9月15日





CONTENTS

01 概述

02 华龙一号堆型介绍

03 华龙一号建造技术介绍

04 华龙一号技术创新介绍

05 华龙一号后续先进施工工艺研发方向



01 概述



前言

FOREWORD

中核二四在中核集团以及中国核建的领导下，坚持“2345”发展思路，推行“六大控制七个零”管理理念，积极组织华龙一号技术优化和科技创新，坚持问题导向、目标导向，聚焦经营性转型，挖掘创新和关键技术，围绕标准化、模块化、信息化、自动化、精细化、工业化、机械化，开展集中攻关，建立关键核心技术攻坚机制。

中核二四立足行业现状和用户痛点，梳理华龙一号技术难点，开展技术创新和科研攻关。通过改变或者优化原有施工工艺，达到减少现场施工投入，提高施工工效的目的。同时，研发高效化的机械设备、工具代替或者部分代替传统工艺中的某些工序，最终达到少人化施工的目的。

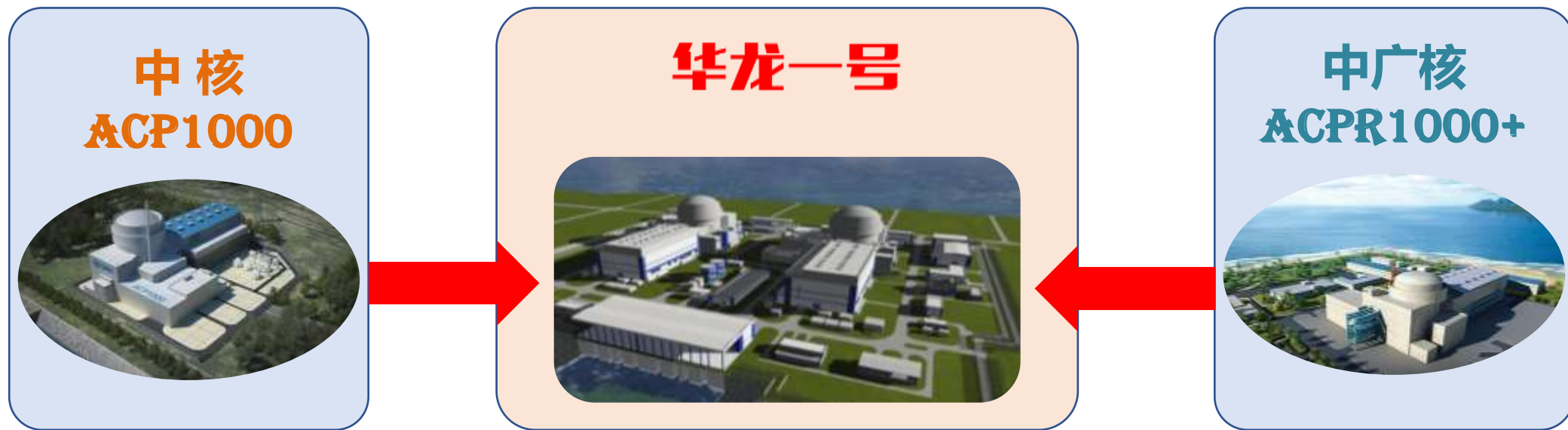
面对新一轮核电发展机遇，中核二四将贯彻落实“三新一高”目标要求，按照“十四五”战略规划，继续开展先进建造技术研究，逐步提升技术能力，在华龙一号取得技术创效的新突破。



02 华龙一号堆 型介绍

2.1 华龙一号首堆介绍

- ◆ “华龙一号”是由中国两大核电企业在30余年核电科研、设计、制造、建设和运行经验的基础上，研发的先进百万千瓦级压水堆核电技术，具有完全自主知识产权的三代压水堆核电创新成果，是中国核电走向世界的“国家名片”，是中国核电创新发展的重要标志性成果。
- ◆ 2020年11月27日，华龙一号全球首堆——中核集团福清核电5号机组首次并网成功。
- ◆ 2021年01月30日，全球第一台“华龙一号”核电机组——中核集团福清核电5号机组投入商业运行。



02 华龙一号堆型介绍

2.2 华龙一号结构形式介绍

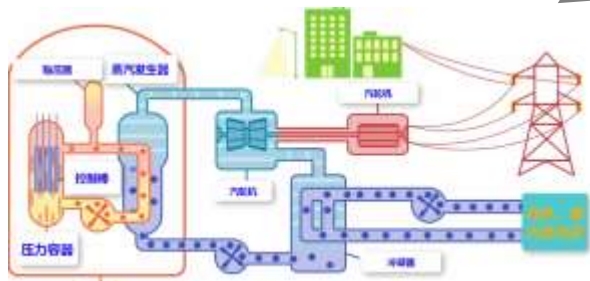
为确保更高的安全性和稳定性，华龙一号在**设计方面体现出以下特点：**



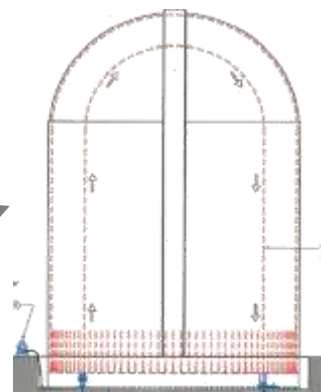
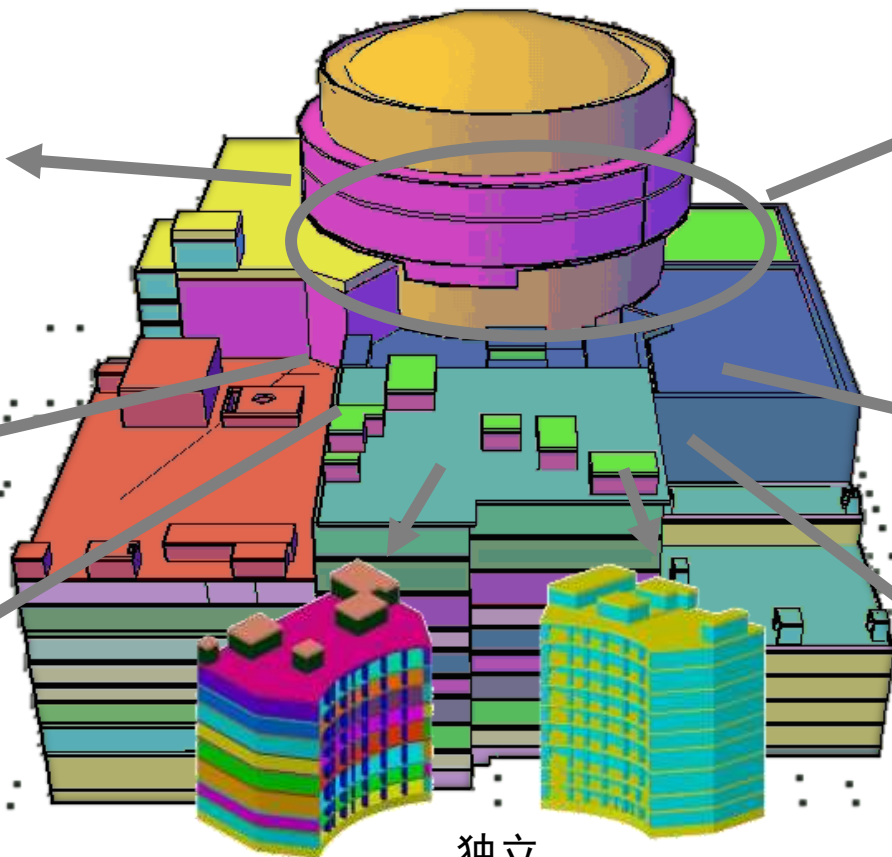
单堆布置



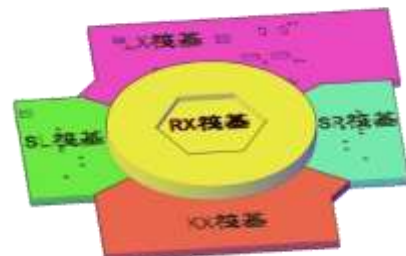
双安全壳结构



核岛三回路循环系统



倒U型预应力布置



独立十字筏基

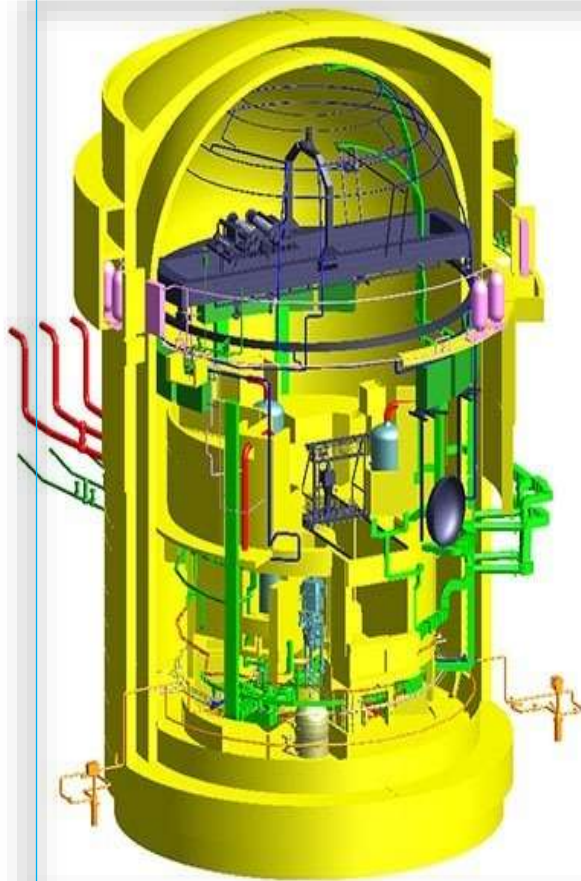
SL
独立
安全厂房
SR



能动+非能动系统

2.2 华龙一号结构形式介绍

- 内壳：带钢衬里的预应力混凝土结构
- 外壳：钢筋混凝土结构
- 环形空间：保持负压收集和过滤泄漏



- 增大的自由容积：
 $>80,000 \text{ m}^3$
- 延长的设计寿期：
60 年
- 承受外部事件：大型
商用飞机撞击、飓风、
飞射物、爆炸等

2.3 华龙一号科技创新成果

中核二四先后在华龙一号项目中开展科研攻关46项，获得国家专利授权83项，获省级工法17项，形成技术总结347篇，主编发布能源行业标准1项，省部级科技进步奖41项，连续获得全国QC小组活动奖。





03 华龙一号建 造技术介绍

3.1 大体积混凝土施工技术

“华龙一号”筏基截面尺寸大，混凝土用量多，单次最大浇筑方量约为9200m³。针对大体积浇筑要求采取了一系列有效措施。并采用温度监测集成系统，实现自动监测、自动采集、自动分析，提高测温数据采集及时性并减少操作误差，同时直观监测温度变化曲线，避免监测不到位出现盲区。



筏基大体积混凝土浇筑



筏基大体积混凝土养护



筏基大体积混凝土浇筑完成拆棚



大体积砼测温自动监测预埋元件

3.2 钢衬里全模块化技术

在华龙首堆建造过程中，策划钢衬里模块化施工（3个模块），顺利实现了核电领域全球直径最大的薄壁型钢衬里模块化吊装。在漳州核电实现了钢衬里筒体、牛腿和次钢平台一体化模块施工（7个模块），开创了核电机组钢衬里全模块化施工建造的先河。且针对吊装方法和工装授权了2项发明专利。



福清钢衬里模块化吊装



漳州钢衬里模块化吊装



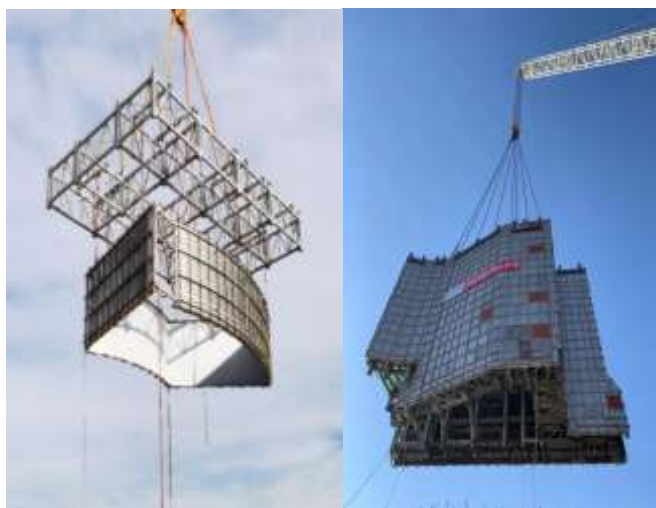
钢衬里模块化专利证书

3.3 不锈钢模块化施工技术

在不锈钢模块化施工领域先后研发了内置换料水箱、非能动堆腔注水箱、堆腔存放水池、堆腔换料水池的整体模块化施工技术和外挂水箱不锈钢侧壁覆面模块化“先贴法”施工技术。实现不锈钢工程工厂预制最大化、安全作业最优，为华龙一号的整体进度优化做出贡献。授权2项实用新型专利，3项发明专利处于公示阶段。



不锈钢侧壁模块化先贴法



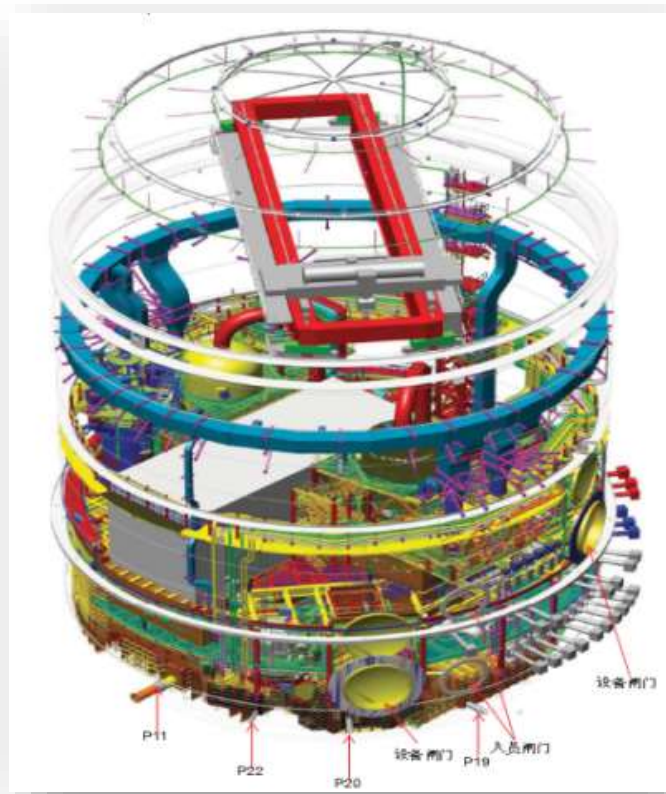
不锈钢整体吊装技术



不锈钢模块化施工专利证书

3.4 二次钢结构先引入施工技术

二次钢结构分布区域广，平台构件样式多。通过次钢先行引入施工逻辑的调整，即次钢结构在楼板未封顶之前最大程度利用机械设备批量引入存放或安装，可减少人工作业，后续可避免大部分安装单位交叉施工，同时平台可提前形成结构功能平台，方便其他专业施工。



华龙一号二次钢结构示意图

3.5 钢筋墙体模块化施工技术

利用模块化施工优势，福清研发了**单层钢筋网片的模块化施工技术**，在漳州核电进行了深化研究，**实现了钢筋墙体整体模块化吊装**，将大量现场高空工作转为场内地面进行操作，提高机械使用率并减少作业人员劳动强度。授权1项实用新型专利。



福清钢筋网片施工



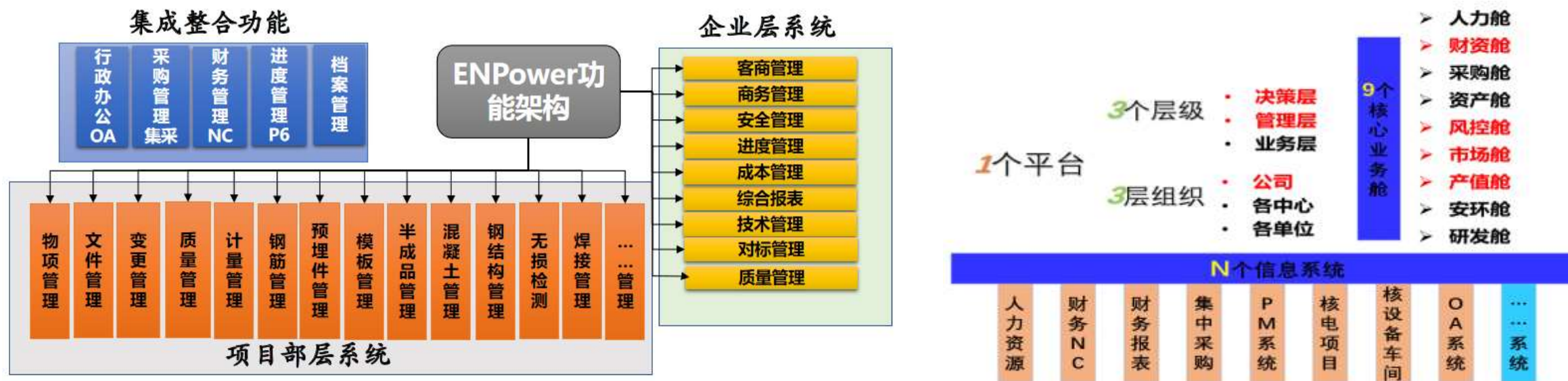
漳州钢筋墙体整体模块化施工



钢筋模块化施工专利

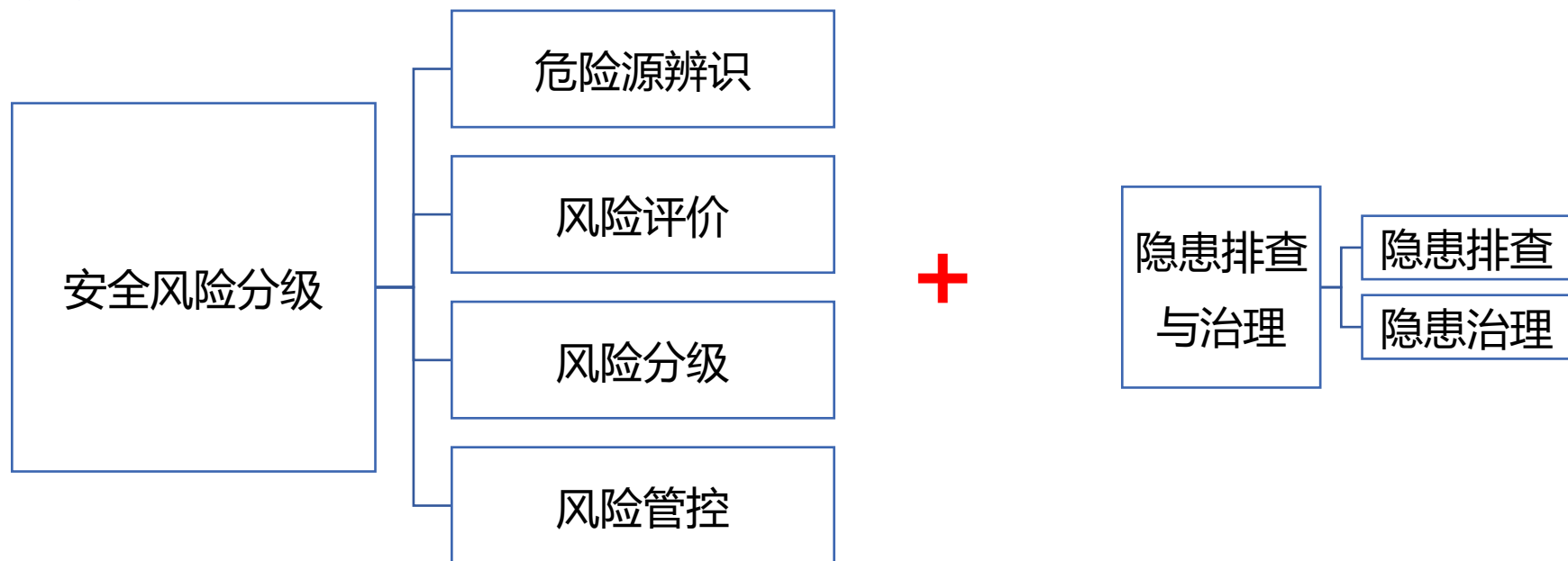
3.6 数字信息化施工技术

- ◆ 利用ENPower信息集中管理系统等新技术，建立了“华龙一号”**土建建造数据库**；提升了管理流程标准化，并具有**可复制性**；同时也充分利用信息技术做好自有知识产权的保护，为后续同堆型工程提供参考。
- ◆ 采用“1339+N”三层九舱，打破**数据孤岛**、**盘活历史数据**、**挖掘数据价值**，实现业务数据“**纵向贯通共享、横向协同共用**”，提高数据利用率。



3.7 安全风险预控机制

为准确把握安全生产的特点和规律，坚持风险预控、关口前移，全面推行安全风险分级管控，进一步强化隐患排查治理，推进事故预防工作科学化、信息化、标准化，实现把风险控制在隐患形成之前、把隐患消灭在事故前面。隐患排查治理机制和风险分级管控机制合称为双重预防机制。



3.7 安全风险预控机制



智能消防系统

该系统安装周期和施工成本约为传统有线报警系统的20%。且该系统可以与微信及电话卡连接，当发生火灾时系统会电话通知值班人员，同时通过电话、短信和微信平台将火灾相关信息发送至值班人员手机。值班人员可以快速确定火灾地点，并及时进行扑救和汇报火险实现智能化消防管理。

风冷背心

根据现场情况配备风冷（冰冷）工作服，通过电动风扇（冰），时刻保证衣服内空气流动，降低体表温度，有效防止人员中暑事件发生。



水平、交叉安全防护硬隔离

平台间隙增加硬防护，平台板增加防火布可以有效阻止物体坠落、火花四散等不安全状态的发生。



3.8 质量管理良好实践

防造假管理

制度管控

- 建立《防造假管理程序》，营造透明诚信氛围，保障质量体系有效运作
- 将“弄虚作假、违规操作”纳入质量红线，重奖重惩。

人员监督

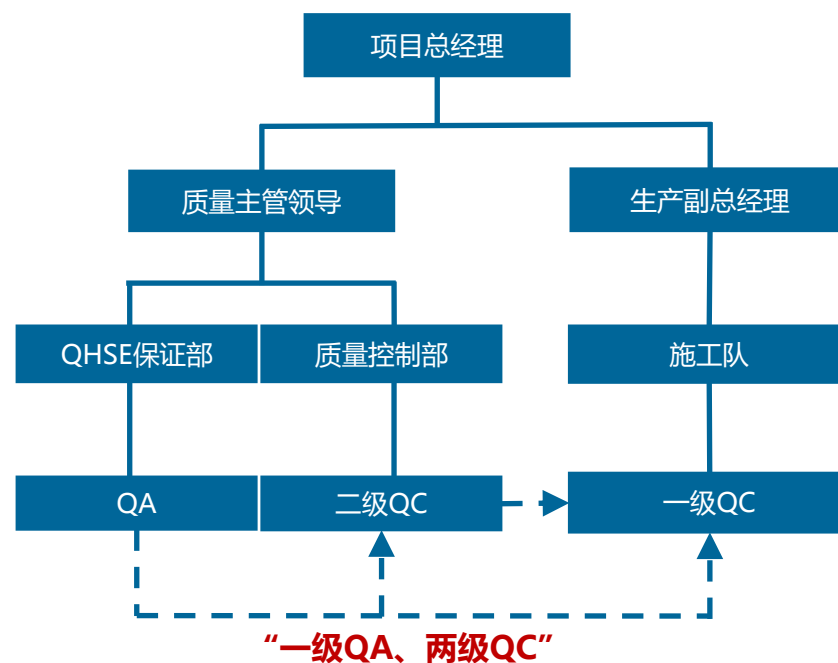
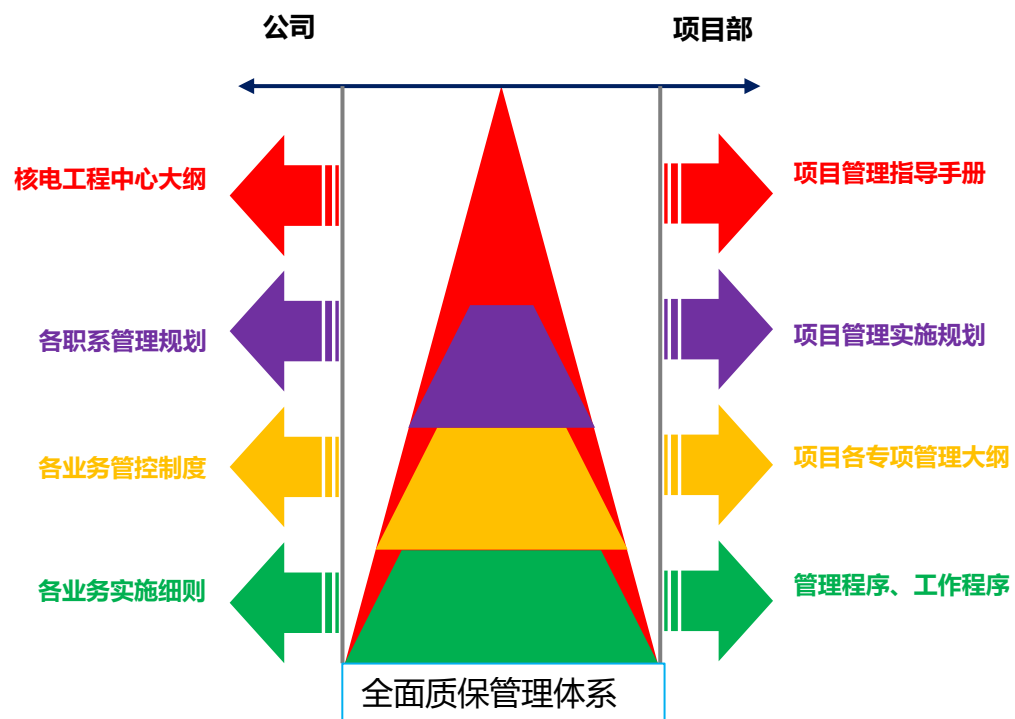
- 制定年度专项监督监查计划，对各供方进行年度审查；
- 上游管理单位联合组织，随机监督监查；
- 现场设置举报信箱、举报电话，全员监督。

技术防范

- 设置报告真伪确认章，采购、验收、监督部门3层100%复核把关；
- 质量工序控制，通过APP扫码消发点方式，从根源上杜绝无检查、无验收、代签等造假手段。

3.8 质量管理良好实践

落实全面质保管理体系，以“完善体系+标准化管理+改进提升”的思路，通过“三检一验”、“样板引路”、“质量验收标准手册”、“质量考核”、“质量奖惩”等方式强化质量管理。



3.9 工程进度管理实践

围绕合同工期目标，实施推动建安进度一体化管理，以先决条件管理、进度TOP10风险管理、工效提升、资源协调保证等为抓手，实现工程进度优化。

A

进度计划



B

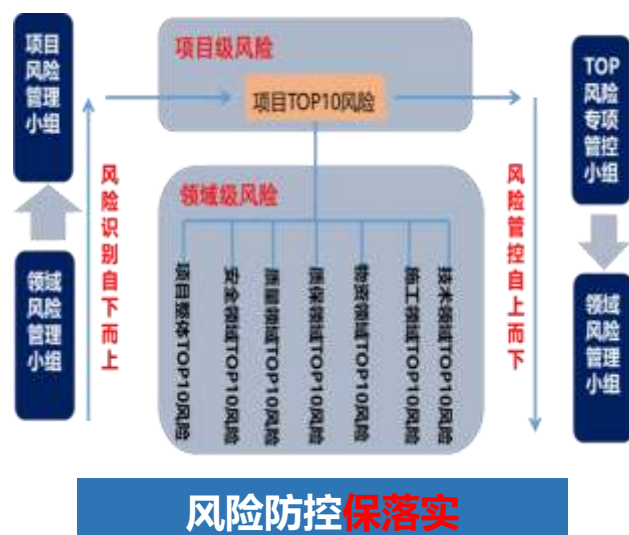
资源协调保障

直接管理	进度目标、进度计划、场内物流、 关键生产资料 （塔吊、堆场、架子工、钢跳板等）
间接管理	生产线后端（施工队）：施工组织、 其他生产资料 （劳动力、主材、周转材料等）
监控协调	生产线前端（部门）： 技术、物资、后台 等

全方位资源协调保过程

C

进度风险一体化管理





04

**华龙一号技
术创新介绍**

技术创新



数字孪生技术



智慧工地



自动化技术



自主化工装研发

中核二四公司主要从数字孪生技术、智慧工地、自动化技术、自主化工装研发四个方面进行介绍。

4.1 数字孪生技术介绍

融合新技术

三维可视化
微服务
物联网
AI
.....

新一代 核电项目 生产管理系统

一体化的核工程数字化项目管理系统
核工程建造大数据分析系统
基于BIM的核工程数字化施工管理系统

实现新功能

统一平台

统一安全

云端部署

土建专业管理

安装专业管理

统一数据标准

统一系统架构

统一业务管理

应用集成

数据集成

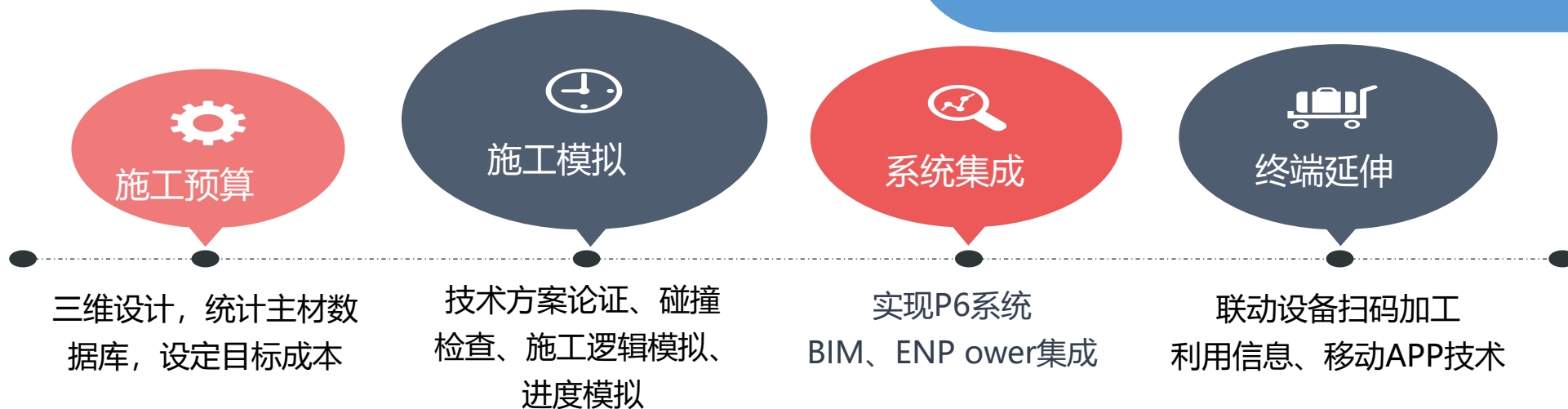
新一代核工程精益建造管理云平台

4.1 数字孪生技术介绍

(1) BIM技术应用： 我司2009年率先启用BIM技术应用，目前可成熟应用在施工逻辑分析、施工工艺模拟、施工方案论证、管线综合设计、质量安全管理、可视化技术交底、灾害应急模拟等方面，在可视化、协同性、模拟性、信息集成性等方面均取得了大量成果。

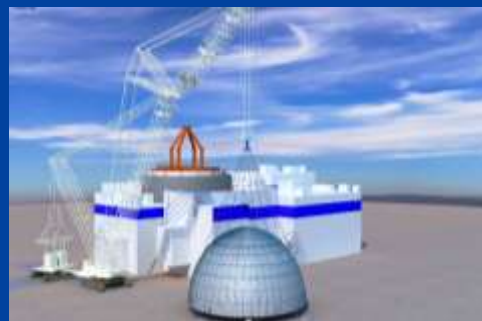
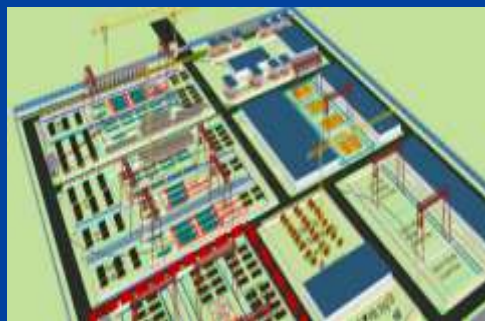
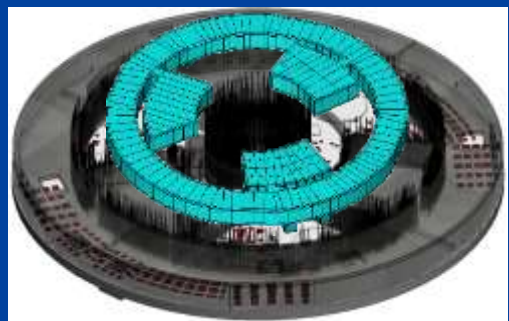
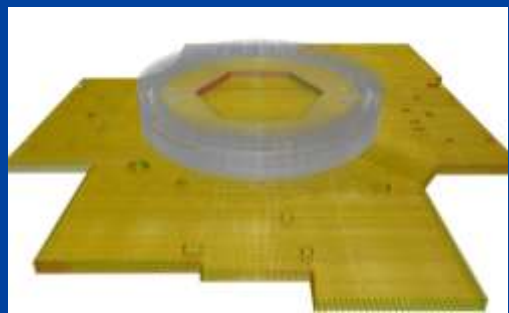


利用BIM可视化技术模拟施工过程动画，清晰地展示了各施工逻辑顺序，对专项方案的合理编制提供了直观的参考



4.1 数字孪生技术介绍

(2) **数字建造**：以数字化土建施工模型为数据载体，形成可视化状态下的“模型转化—设计深化—技术管理—物项管理—成本管理”的管理链条。



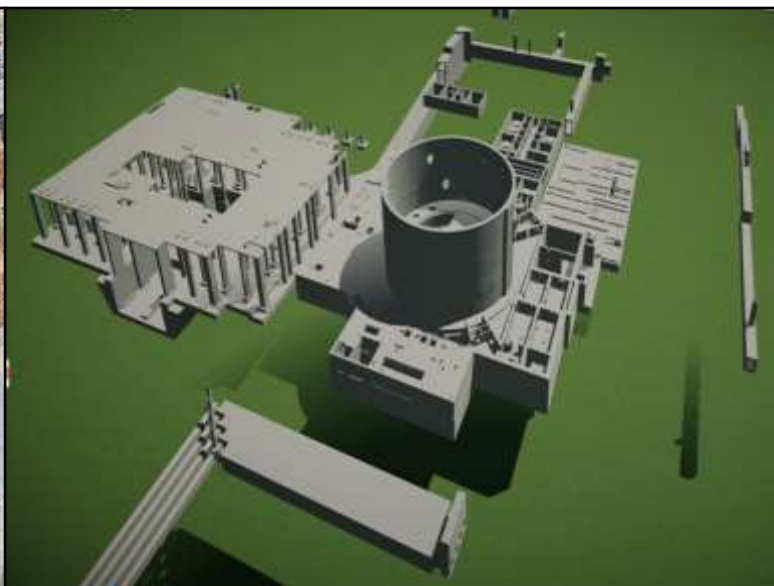
4.1 数字孪生技术介绍

(3) 可视化建造技术运用实例



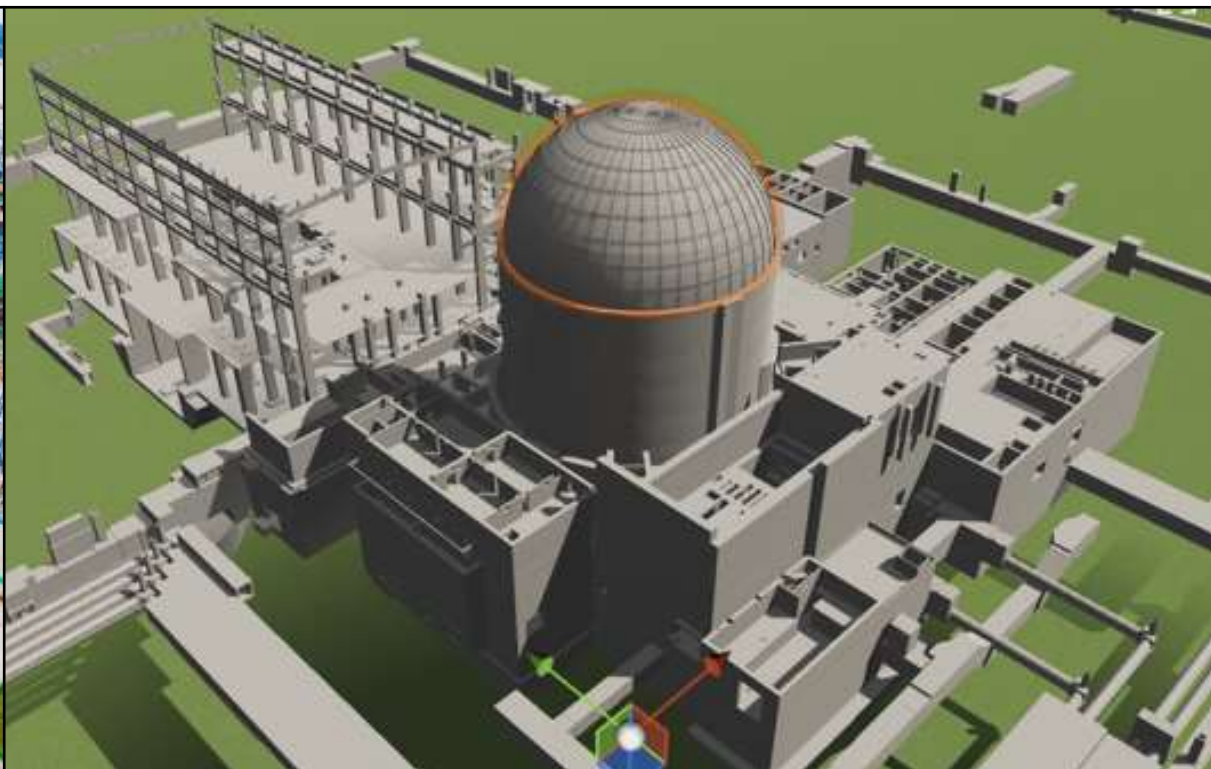
漳州核电FCD+0阶段

4.1 数字孪生技术介绍

漳州
核电
FCD
+6
阶段漳州
核电
FCD
+12
阶段

04 华龙一号技术创新介绍

4.1 数字孪生技术介绍



漳州核电FCD+25阶段

4.2 智慧工地介绍

(1) **智慧园区**：智慧园区是基于核电园区内人、车、物管理需求提供综合管理流程优化思路，为园区建设、管理、运营工作提供了一种全新的模式。

目前在漳州核电项目产业园区实现：①园区一脸通，②网络高清视频联网，③报警联动策略，④制造、施工过程可视化追溯，⑤报警预案，⑥门禁与报警联动等部署实施。



平台界面



总体规划

04 华龙一号技术创新介绍

4.2 智慧工地介绍

(2) 水、电、气智能监测系统: 1) 水、电、气表将实现无人抄表, 系统可生成任意时段或任意瞬间的用电曲线, 可对设备运行效率进行分析并生产报表; 及时发现设备的时间和功能利用率, 及时替换适合现场的设备, 及时更换更加先进节能或低功耗的设备。2) 可及时发现异常并进行排查, 减少不必要的损失。3) 可监测带电设备的耗电量, 如KRB设备加工1吨钢筋的耗电量, 为后续投标、成本核算、企业定额编制提供数据参考。

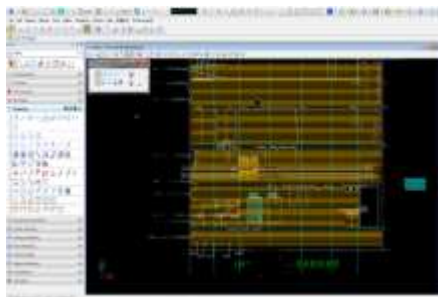


04 华龙一号技术创新介绍

4.2 智慧工地介绍

(3) 钢筋构件全寿期数字化管控: 以BIM+ENPower系统+钢筋联动设备+钢筋定位与配送管理, 整个流程按照业务需求为导向, 形成一体化的核电钢筋数字加工与智能配送技术, 实现钢筋管理“盲区”可视化, 用于监控钢筋“物”的“位置信息”和“状态信息”, 实现钢筋装载汽车在厂区中从“人寻”升级“系统+遥控”管理状态, 整个钢筋管理达到“一目了然”, 实现事半功倍的增益效果。

- 01 BIM钢筋下料
(数据表单)
- 02 钢筋加工、排产



- 03 钢筋配送
(闭环管理)
- 04 料牌回收

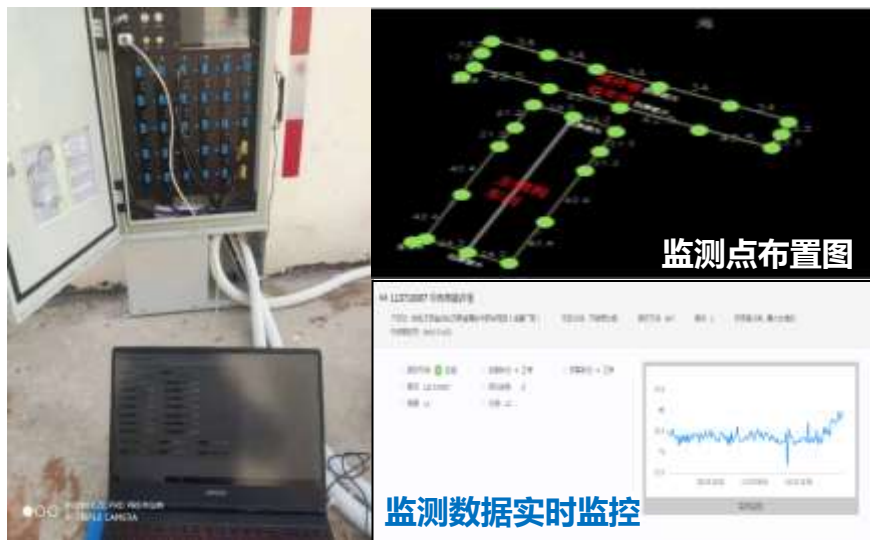


定位系统全过程钢筋管理

4.2 智慧工地介绍

(4) **核电沉降自动观测系统**: 研究开发自动化监测系统, 实现沉降监测系统的智能化, 灵敏度达到0.03mm, 监测精度达0.1mm, 与传统方法监测数据互差在0.5mm以内, 可避免人工繁琐操、减少人因失误、提高工作效率;

(5) **BIM一体化测量技术**: 结合现场实际情况将BIM技术与GPS RTK测量技术、全站仪ATR自动瞄准技术相融合, 并设计开发与之匹配的测量数据处理系统, 制定先进科学的工艺流程, 实现了BIM一体化测量技术。



核电站沉降自动观测



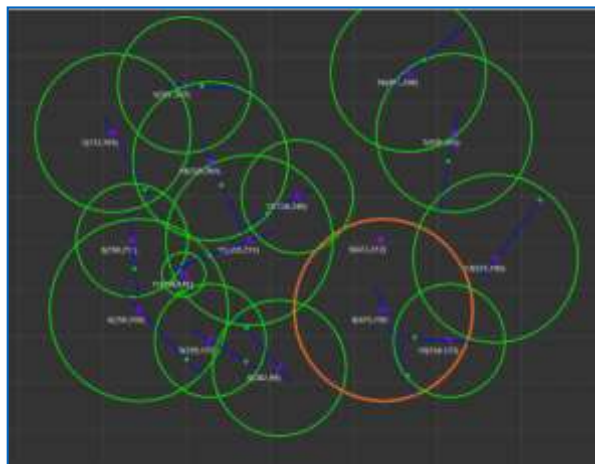
BIM一体化测量技术

4.2 智慧工地介绍

(6) 塔吊防碰撞系统：针对核电大规模、高密度的塔吊群安装防碰撞系统（由高度传感器、幅度传感器、回转角度传感器、主机、显示器以及自组网局域网传输设备构成），当监控到塔吊进入危险区域时，发出报警信号，高效率的实现了建筑塔机单机运行的群塔干涉作业防碰撞的开放式实时安全监控与声光预警报警等功能，以及实时动态的远程监控、远程报警和远程告知，有效地防范和减少了塔机安全生产事故发生。目前在核电项目成熟应用，保持塔吊运转零事故记录。



现场应用



预警提醒



后台监控

04 华龙一号技术创新介绍

4.2 智慧工地介绍

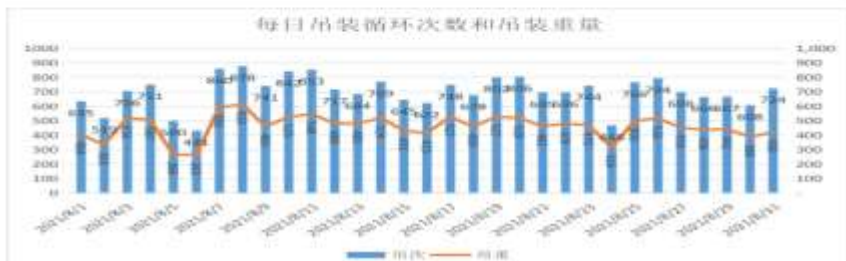
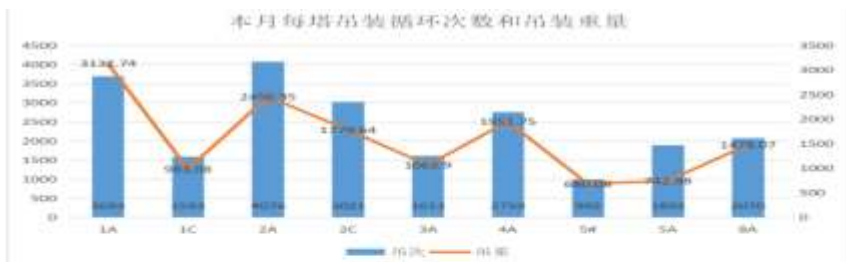
(7) 大象漫步塔机安全驾驶辅:

此系统功可实现以下功能:

群塔作业防碰撞预警及报警功能。

监控吊物自动对焦和跟踪, 司机监控认证及对讲功能。

对运行情况统计及安全风险分析等众多功能。



生成任意时段塔吊使用次数及吊装重量分析图



塔吊群防碰撞预警;

吊物自动对焦和跟踪;

司机监控认证及对讲



04 华龙一号技术创新介绍

4.3 自动化技术介绍

(1) 自动焊技术：公司设有焊接技术研究所，已掌握**6项核心焊接技术**成果并进行了规模性推广应用。目前正在研究2项新技术，并对6项核心技术进行深化研究：



➤ **热丝TIG自动焊接技术**

实现长直焊缝不间断自动焊。

➤ **等离子弧自动焊接技术**

实现3-8mm不锈钢覆面不开坡口、不留间隙，一次焊透。

➤ **脉冲无轨自动焊接技术**

已解决轨道机器人轨道限制问题，实现全位置焊，效率为手焊3-5倍。

➤ **埋弧螺柱焊接技术**

解决了预埋件钢筋16-32mm自动化焊接程度问题。

➤ **CO2气体保护焊自动焊技术**

适用于6-48mm厚板全熔透焊缝在平、横、立位置的焊接，实现了长直焊缝的连续焊接，无需清渣。

➤ **穿孔塞焊自动焊**

实现从钢筋抓取、插入孔、点焊、塞焊以及下料自动化生产，完全脱离了对技能人员的需求。

4.3 自动化技术介绍

(2) 智能化机器人引入：漳州核电项目部积极与广东博智林有限公司展开沟通交流，经过调研与筛选，引进多台建筑机器人到漳州核电现场开展试验，以减轻现场劳动力流失的压力，助力华龙一号批量化建设。



装修喷涂机器人



混凝土抹面机器人



核清洁机器人

4.4 自主化工装研发

(1) 钢衬里拼装胎架模块化工装：在漳州核电首创拱膜桁架结构作为拼装胎架，优化测量通视条件，解决了穹顶拼装满堂脚手架反复搭拆、测量/焊接/检测空间不足的现状，实现土建和安装施工一体化深度融合。授权1项发明专利。



福清钢衬里穹顶拼装



漳州钢衬里穹顶拼装



钢衬里穹顶拼装发明专利

4.4 自主化工装研发

(2) 模块化辅助工装： 为了提高工效，降低施工难度，自主设计了多项先进的工装，并授权了国家发明专利，工装知识产权自主可控。



组装式竖向通道工装



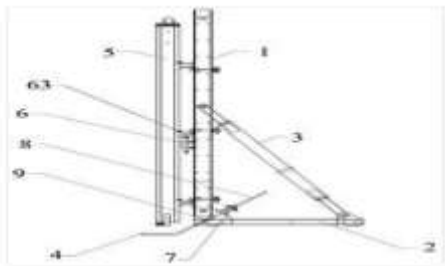
竖向预应力导管定位工装



外挂架作业平台工装

4.4 自主化工装研发

(3) 单侧模板体系施工工装：“华龙一号”漳州核电项目核岛各厂房均为现浇钢筋混凝土结构，由于现场工程量大、工期紧，建筑物平面布置紧凑，各厂房相邻墙体之间交叉施工频繁。受施工场地的限制，部分墙体施工时无法放置对拉螺栓控制混凝土的侧压力，给模板施工带来了较大不便。为解决该模板支设困难的问题，研究开发单侧模板体系施工技术。



[发明专利] 一种可单侧支设墙体模板的支架

授权公告号：CN112523495B

申请号：2020113986090

同一申请的已公布的文献号：

CN112523495A

授权公告日：2022.05.31

申请日：2020.12.03

申请公布日：2021.03.19

专利权人：中国核工业二四建设有限公司



发明人：罗志; 全部

地址：621000四川省绵阳市游仙区游仙路11号

分类号：E04G11/06(2006.01)I; 全部

摘要：本发明公开了一种可单侧支设墙体模板的支架，包括竖向主背楞、地梁、斜撑和地脚螺栓；所述竖向主背楞、地梁和斜撑依次连接构成直角三角形支架；地梁作为一个直角边，用于与地面接触；竖向主背楞作为另一个直角边，用于与墙体定型模板接触；所述地脚螺栓在三角形支架的直角处穿过地梁后，用于埋设在墙体定型模板下方的地面内；所述斜撑采用伸缩组件，伸缩组件的固定端与地梁铰接连接，伸缩组件的伸缩端与竖向主背楞铰接连接。

本发明... 全部

发明专利

发明专利申请

事务数据

单侧模板体系发明专利授权



05

华龙一号后续先进施工工艺研究方向

05 华龙一号后续先进施工工艺研发方向

结合前期模块化建造经验，充分利用BIM技术，对华龙一号自主堆型进行建安体量优化与施工优化，最大限度的实现华龙一号的模块化与轻量化，向无人化、少人化方向推进。通过智能化、自动化建造技术，采用机器人+的施工工艺，减少施工难度和强度的同时，确保“华龙一号”建设工期，从而提升整体经济性。

已实现的模块化施工技术

- 钢衬里底板模块化
- 钢衬里及内穹顶模块化
- 外穹顶钢模板模块化
- 不锈钢水池模块化
- 外挂水箱不锈钢模块化
- 钢筋笼模块化

目前正在研究开发项目

- 无线感应式自动沉降系统
- 钢筋自动加工流水线
- 全自动化焊接工艺生产线
- 预埋件自动加工流水线

后续技术发展方向+机器人

- 华龙后续机型工期研究
- 华龙后续机型智能建造技术应用研究
- 焊接机器人
- 检测机器人
- 钢筋绑扎机器人
- 抹灰机器人
- 喷涂机器人
-

谢谢

THANK YOU

