

建设一流示范基地 打造优质核电工程

宋晓刚

2021年5月12日

目录

CONTENTS

- 1 高温气冷堆项目介绍
- 2 质量管理体系建设
- 3 过程质量控制
- 4 核安全文化建设
- 5 信息化管理
- 6 案例交流

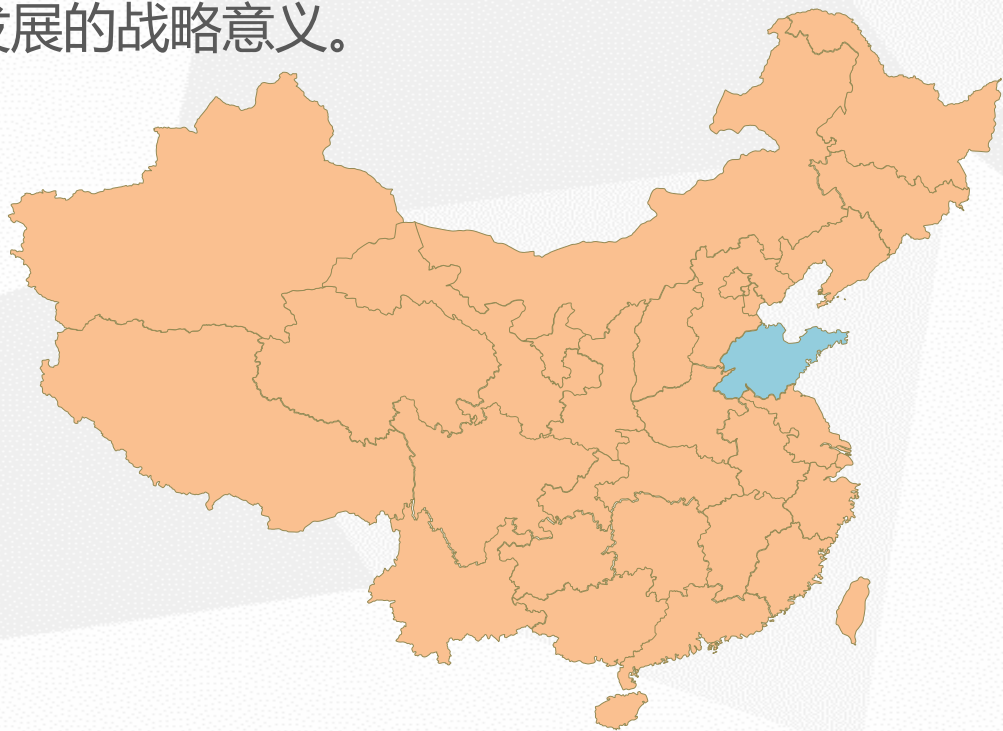
01

高温气冷堆项目介绍

一、高温气冷堆项目介绍

(一) 工程战略意义

华能山东石岛湾高温气冷堆核电站示范工程位于山东省荣成市，是全球首座将三代核电技术商业化的示范项目，是列入《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020）》中的科技重大专项之一。项目以建成的10MW高温气冷实验堆为技术基础，采用我国具有自主知识产权的高温气冷堆发电技术，具有提升我国自主创新能力、保持高温气冷堆技术优势、加快核电建设国产化进程和促进国家可持续能源发展的战略意义。



一、高温气冷堆项目介绍

(二) 发展历程



核心电子器件、高端通用芯片及基础软件

极大规模集成电路制造技术及成套工艺

新一代宽带无线移动通信

06 大型先进压水堆及高温气冷核电站

重大新药创制

大型飞机

高分辨率对地观测系统

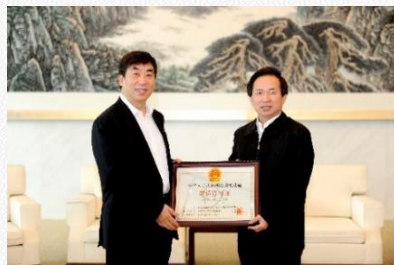
载人航天与探月工程

北斗卫星导航系统

十六个国家科技重大专项

国家中长期科学和技术发展规划纲要 (2006-2020年)

中国科学院关于实施科技跨越计划 部署自主创新的若干意见



三方签订合作投资协议

2004年12月

项目列入国家科技重大专项

2006年2月

国务院常务会议批准示范工程项目

2011年3月

取得建造许可证，并开工建设

2012年12月

完成主体工程

2015年10月

全面完成双堆热试

2021年3月

连续安全生产3076天

十六年开发建设历程

一、高温气冷堆项目介绍

(三) 组织管理情况

政府推动

- 国务院直接统一领导
- 科技部会同发展改革委、财政部负责综合协调和整体推动
- 国家能源局牵头组织核电专项

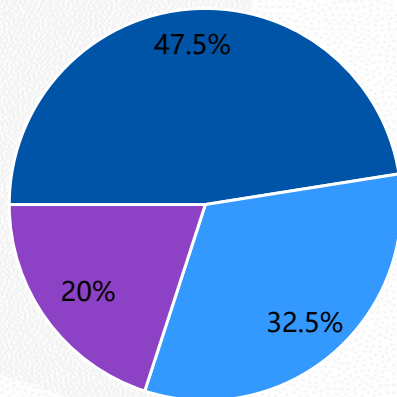
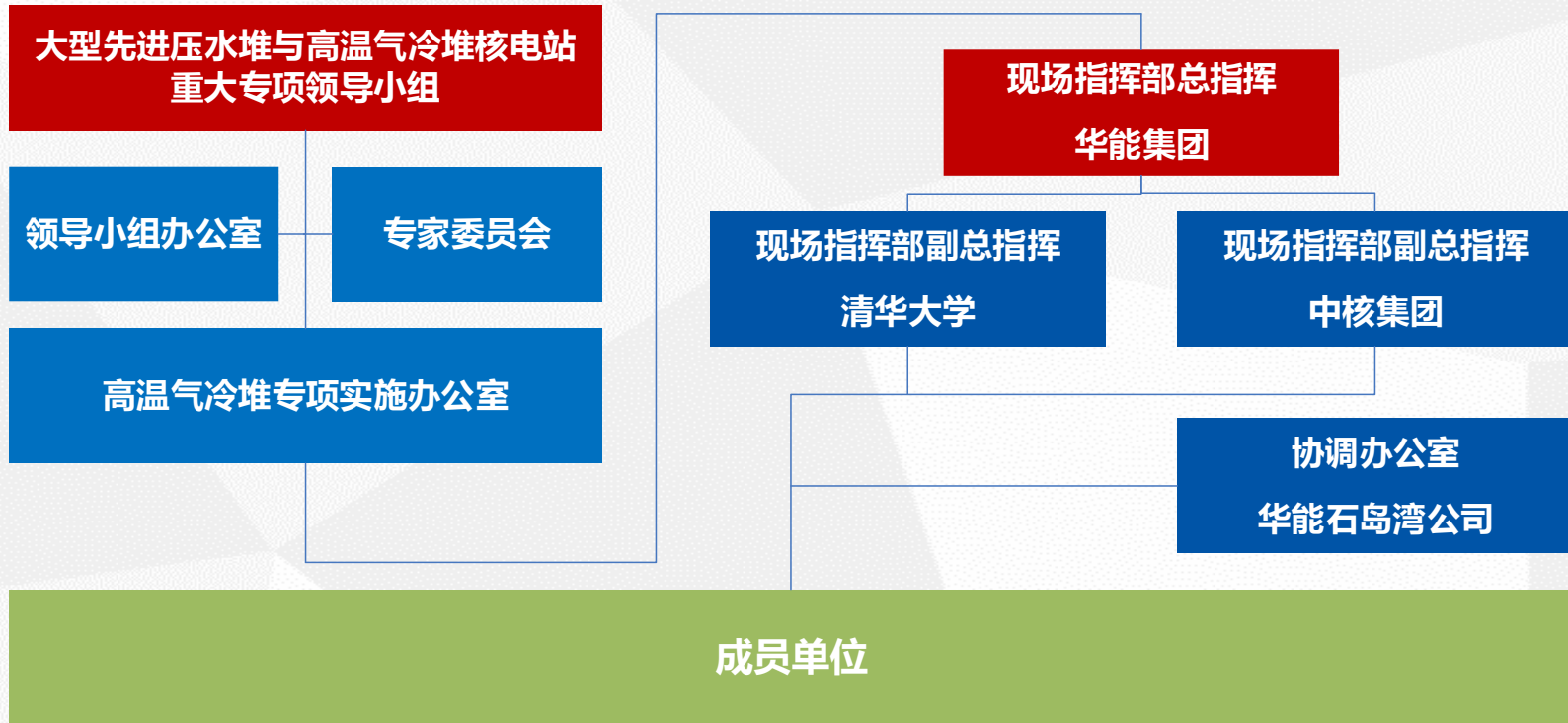
企业主导

研发牵头

市场运作

合作共赢

政产学研用相结合



华能石岛湾公司

- 华能核电开发有限公司
- 核建高温堆控股有限公司
- 清华控股有限公司

现有职工805人

- 中国核工业建设股份有限公司
- 中核能源科技有限公司
- 清华大学核研院
- 上海电气集团股份有限公司
- 哈尔滨电气股份有限公司
-

(四) 后续工作计划



首堆首次临界

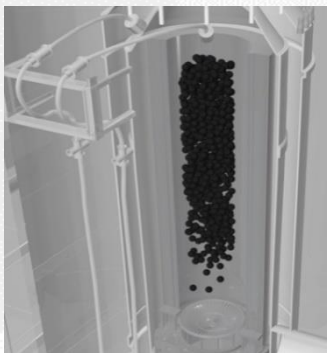
2021年7月



100小时
满功率运行

2021年5月

首堆装料



2021年11月

并网发电



2022年4月

一、高温气冷堆项目介绍

(五) 设备国产化情况

重大专项总体方案目标:

75%

实际国产化率:

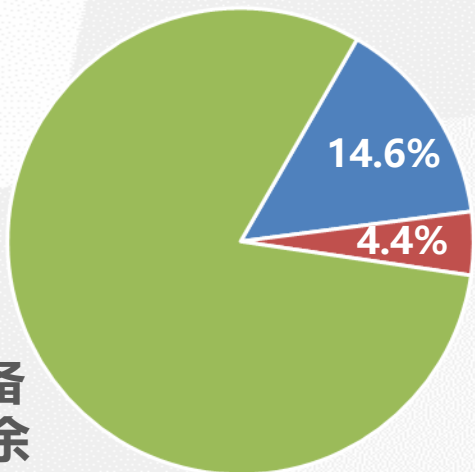
93.4%

■ 设备国产化率

进口设备主要涉及：**核级石墨、氦气阀门、电磁轴承**等

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

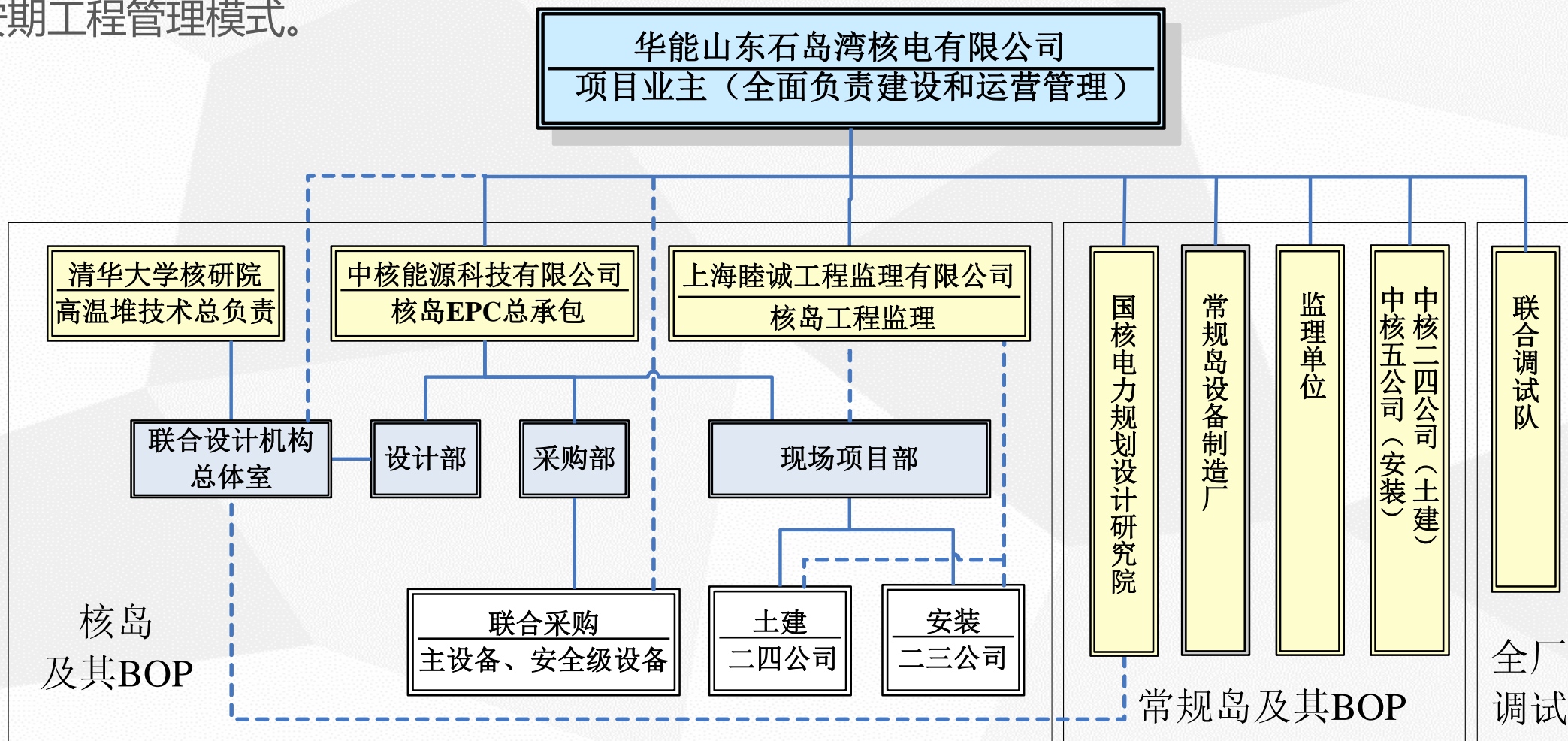
| 主要设备 | 供货单位 |
|---------|-----------------------------------|
| 反应堆压力容器 | 上海电气核电设备有限公司 |
| 蒸汽发生器 | 哈电集团（秦皇岛）重型装备有限公司 |
| 金属堆内构件 | 上海第一机床厂有限公司 |
| 主氦风机 | 佳木斯电机股份有限公司（电机） 上海鼓风机厂有限公司（风机） |
| 碳堆内构件 | 方大炭素新材料科技有限公司 |
| 石墨堆内构件 | 上海东洋炭素有限公司 |
| 燃料元件 | 中核北方燃料元件有限公司 |
| 汽轮机 | 上海电气集团股份有限公司 |
| 发电机 | 哈尔滨电机厂有限责任公司 |

02

质量管理体系建设

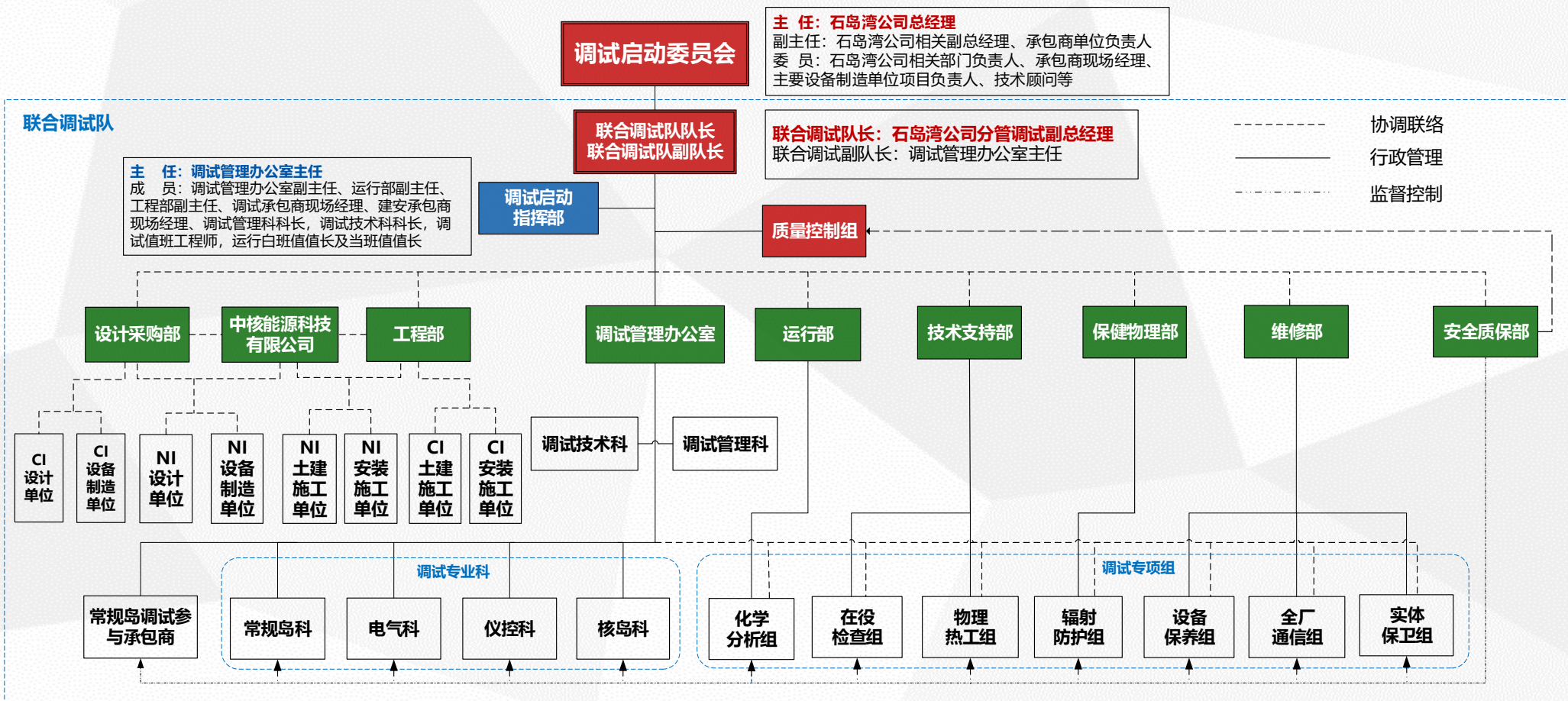
(二) 适宜有效的工程管理体系

综合管理体系与示范工程的管理模式相结合，采用核岛总承包和常规岛及配套工程由业主直接负责的建设工期工程管理模式。



(二) 适宜有效的工程管理体系

调试采用核岛自主调试、常规岛委托外包的模式，成立联合调试队，形成调试期工程管理模式。



03

过程质量控制

(一) 设计质量控制

高温气冷堆作为世界首堆，采用了较多的新设备、新技术，在施工设计阶段过程中发生变更较多，针对设备制造、现场施工产生的方案变更，我们积极探索，建立方案变更管理机制；为保证设计质量和设计进度，我们建立了完善的设计管理体系。

方案变更管理机制

对影响重大、费用较高的变更重点管理，要求核岛EPC总承包商或设计方提交变更方案设计专项报告，对变更方案的必要性、可行性、经济性、是否影响许可证条件等已通过核安全局评审的文件进行说明。

完善的设计管理体系

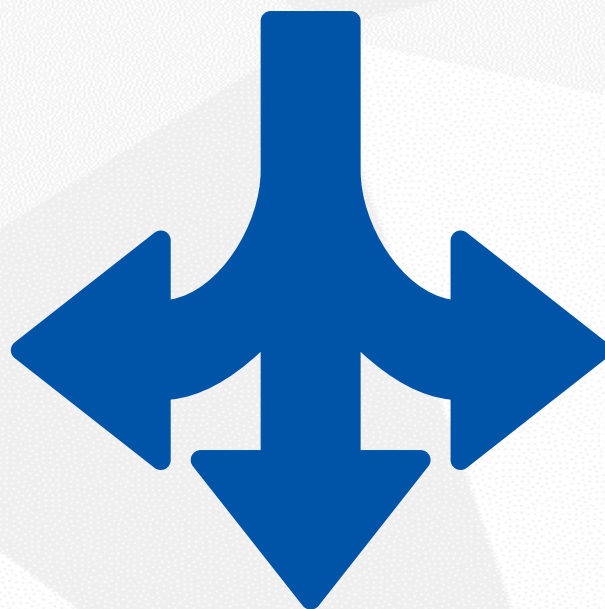
业主对设计文件采取审查全覆盖，审查意见函发设计方，设计方回函反馈审查意见。业主建立设计文件审查数据库，对设计文件审查进行全程跟踪、设计变更闭环管理，确保设计审查意见得到及时反馈。

(二) 采购质量控制

建立了完善的采购管理体系，从提出需求到物项服务验收通过，实现全流程覆盖。

通过实行联合采购和自主采购相结合的方式，有效保证了采购进度计划的落实；通过建立完整的监造技术体系，确保设备监造活动可控、可追溯。

采购管理全流程



平行监造

采用业主与总包平行监造的“大业主”模式

监造分级

构建的高温堆设备监造分级原则

体系建立

创建了国内首个业主方的监造管理体系和工作管理体系

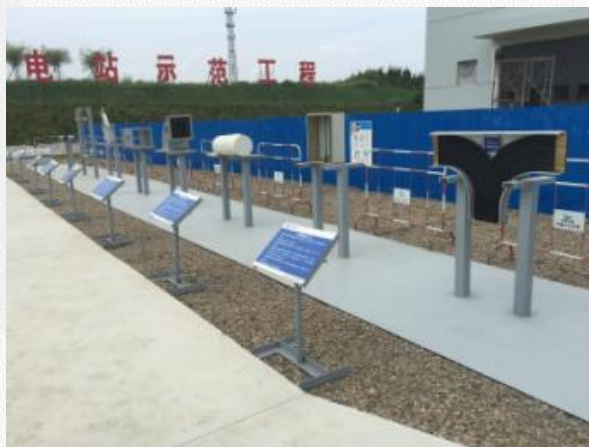
(三) 施工质量控制

严格按照质量管理程序要求，在施工管理中以质量计划为抓手开展各施工质量监督工作，严格执行施工方案，严格按照设计文件及标准规范验收工程质量。



● 质量监督标准化

以标准化指导现场的
施工监督工作



● 样板工艺

策划以样板先行、亮点引领、
工程实体达到创优标准

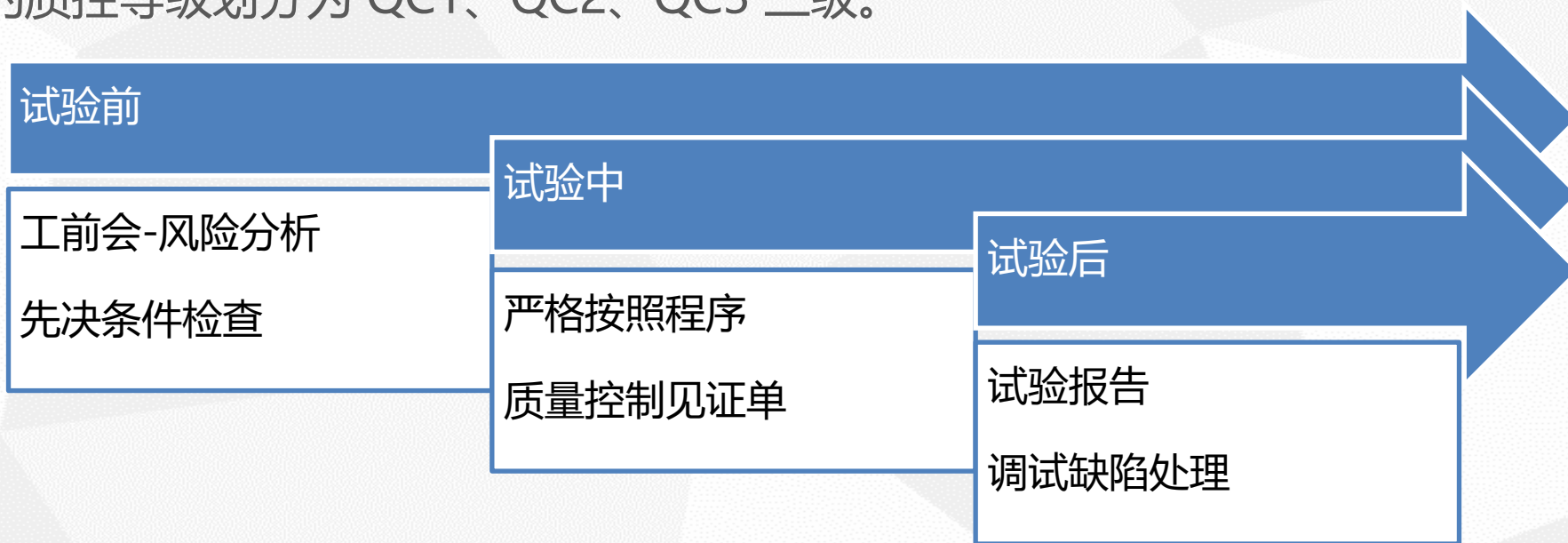


● 精细化、清洁化

推行精细化工艺要求，实现
精细化、清洁化安装目标

(四) 调试质量控制

在调试过程中，推行事前检查、事中控制、事后评价的全程质控管理理念，遵循分级质控原则，将试验项目的质控等级划分为 QC1、QC2、QC3 三级。



同时，注重人员培训与授权、调试技术交底、调试沙盘推演、试验许可证与隔离和调试经验反馈等质控屏障的综合应用。

04

核安全文化建设

四、核安全文化建设

(一) 核安全文化理念

秉承华能“三色文化”，以核安全为核心的具有华能特色和石岛湾核电特点的文化体系。以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，坚持集团公司“一个纲领”“两个提升”“三个导向”的核安全文化建设原则，以政策声明及核安全文化特征为准则开展核安全文化建设。



四、核安全文化建设

(二) 党建引领工程建设

“党建引领、聚力攻坚”专项行动

高温气冷堆核电站示范工程作为全球首堆项目在建设过程中存在业主项目管理经验不足以及协调合作伙伴解决重点、难点问题的能力不足的客观因素。石岛湾公司领导班子坚持问题导向和底线思维，正视客观因素及自身不足。2020年6月，推动并开启了“党建引领、聚力攻坚”专项行动。

3个100%

- 安全责任目标兑现率100%
- 工程安装、调试质量合格率100%
- 重点工作、工程节点按期完成率100%

两个新突破

- 综合管理能力、工程管控水平新突破
- 技术创新覆盖面、职工技能培训深度新突破

一个再提升

- 企业作风、职工综合素质再提升

(二) 党建引领工程建设

“党建引领、聚力攻坚”专项行动

公司领导组成“现场攻坚督导组”深入一线，现场解决问题。

- ◆发挥业主主导作用，由公司领导亲自组织日工程调试协调会，主导重要问题事项解决；
- ◆发挥挂牌督战作用，重点目标、难点事项指定公司领导直接挂牌督办；
- ◆发挥联席协同作用，各主要参建单位上级组织“一把手”，落实总指挥部要求和协调现场所需资源及重要事项。



(二) 党建引领工程建设

为高效协同各方推进制约示范工程关键节点的重大问题，“党建引领、聚力攻坚”专项行动开启了石岛湾公司主要领导以上率下、挂牌督战，设立“2+5+2”任务，暨2项年度目标、5项攻坚任务、2项中长期目标。

党建引领 聚力攻坚 责任担当 领导示范

核电公司示范工程
协调督导组

组长:张涛

副组长:陈君国 吕华权

成员:刘斌 薛亚斌 高强 钟娇 迟鹏

挂牌督战
攻坚战



周亮党委书记

第一攻坚战: 核岛电缆整改

完成时间: 2020年7月25日

专责人: 宋长江



张勇副总经理

第二攻坚战: 首堆冷试

完成时间: 2020年9月15日

专责人: 常重喜

挂牌督战
专攻点



胡守印总经理

吸收球停堆系统问题处理

完成时间: 2020年7月30日

专责人: 席京彬



周亮党委书记

首堆节流组件装配

完成时间: 2020年8月25日

专责人: 耿宝杰



龚兵总工程师

控制棒问题处理

完成时间: 2020年10月15日

专责人: 田野



张勇副总经理

隔膜压缩机问题处理

完成时间: 2020年7月15日

专责人: 杨文明



徐伟强副总经理

2号主氮风机冷态试验

完成时间: 2020年9月5日

专责人: 黄建利



徐伟强副总经理

燃料装卸系统改造

完成时间: 2020年9月15日

专责人: 鲍学斌

挂牌督战
攻坚专项



邵华标副总经理

实现高温堆取排水功能

完成时间: 2021年8月15日

专责人: 刘建军



阮良成副总经理

完成首堆装料准备

完成时间: 2021年4月16日

专责人: 李海泉

党建引领 聚力攻坚 责任担当 领导示范

核电公司示范工程
协调督导组

组长:张涛

副组长:陈君国 吕华权

成员:刘斌 薛亚斌 高强 钟娇 迟鹏

挂牌督战
攻坚点

(1) 完成1号主氮风机额定转速调试



张勇副总经理

完成时间: 2020年10月25日

(2) 完成2#/1#堆燃料装卸系统冷态功能试验联调



徐伟强副总经理

完成时间: 2020年11月20日/12月15日

(3) 完成控制棒系统方案审评及变更实施



龚兵总工程师

完成时间: 2020年11月20日

(4) 现场整治工作完成60%目标任务



胡守印总经理



阮良成副总经理

完成时间: 2020年12月31日



周亮党委书记



徐伟强副总经理

(5) 完成中子源审评意见



阮良成副总经理

完成时间: 2020年12月31日

挂牌督战
攻坚专项

(1) 实现高温堆取排水功能



邵华标副总经理

完成时间: 2021年8月15日

(2) 完成首堆装料准备



阮良成副总经理

完成时间: 2021年4月16日

四、核安全文化建设

(三) 强化员工的责任意识

开展了多维度的员工责任意识培训及核安全文化建设工作。常态化开展“遵守程序、敬畏制度”专项行动，提升员工“按程序办事”的意识，营造“一次性把对的事情做好”的氛围。



核安全文化知识竞赛

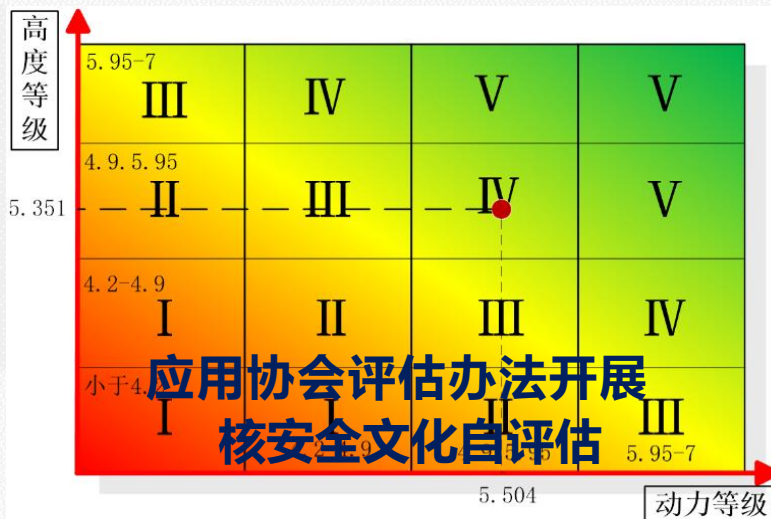
工程建设 先进典型 反面警示 案例选编

[2020] 第 8 期

华能山东石岛湾核电有限公司纪律检查部 2020年8月31日

【编者按】本期先进典型选编“大国工匠”航天科技集团高级焊接技师高凤林先进事迹，他几十年精益求精、追求卓越，为实现国家重点工程、重点型号技术突破做出重大贡献，成为行业标杆。反面案例选编收受受贿，反被不法商人要挟敲诈，名誉、金钱一场空，最终受到法律制裁案件。本期特别选编威海市纪委通报澄清5起“诬告陷害”典型案例，教育引导广大党员干部在“协同攻坚”关键时期，任务艰巨、使命光荣，要敢于担当、勇于作为，坚决杜绝“三心二意”搞建设，全力以赴谋发展，充分汇聚正能量，以饱满的工作热情，为夺取“两冷一热”年度目标做出应有的贡献。

常态化开展警示教育



应用协会评估办法开展核安全文化自评



核安全文化宣贯手册

核安全文化宣贯手册

华能山东石岛湾核电有限公司 HUANENG SHANDONG SHIDAO BAY NUCLEAR POWER CO., LTD.



签订安全生产责任书

一、核安全文化起源

2002年3月7日，美国Davis-Besse核电厂1号机组进行了反应堆压力容器顶盖上控制棒驱动机构贯穿件超声检查。检查发现反应堆压力容器顶盖靠近3号控制棒驱动机构接管处有一空洞。腐蚀深入到顶盖基体金属，并最终到达了顶盖内部1厘米厚的不锈钢堆焊层，潜在后果非常严重！“微核球”

事件原因：过分强调短期生产目标，忽视安全。检查、检修、维护工作不到位，对利用业主进行经验反馈信息，缺乏安全意识，安全文化水平下降。

开发核安全文化宣贯案例

四、核安全文化建设

(四) 同行评估提升管理水平

主动向中国核能行业协会、WANO申请，累计接受了12次同行评估，包括三次综合评估，一次综合评估回访，一次综合评估回访后再评估，四次专项评估，两次专项评估回访，一次核安全文化同行评估，通过评估改进不断提高核电业务管理能力。



四、核安全文化建设

核聚石島 能創未來

(四) 同行评估提升管理水平



2017年10月, CPO评估

核安全文化
同行评估

CPO评估

2017.12

调试专项评估回访

2017.10

2017.9

CPO评估回访

2018.6

SOER评估

2018.10

WANO PSUR

2021.1



2017年12月, 中国核能行业协会应用核安全文化评估准则实施的首次在建核电厂核安全文化同行评估

05

信息化管理

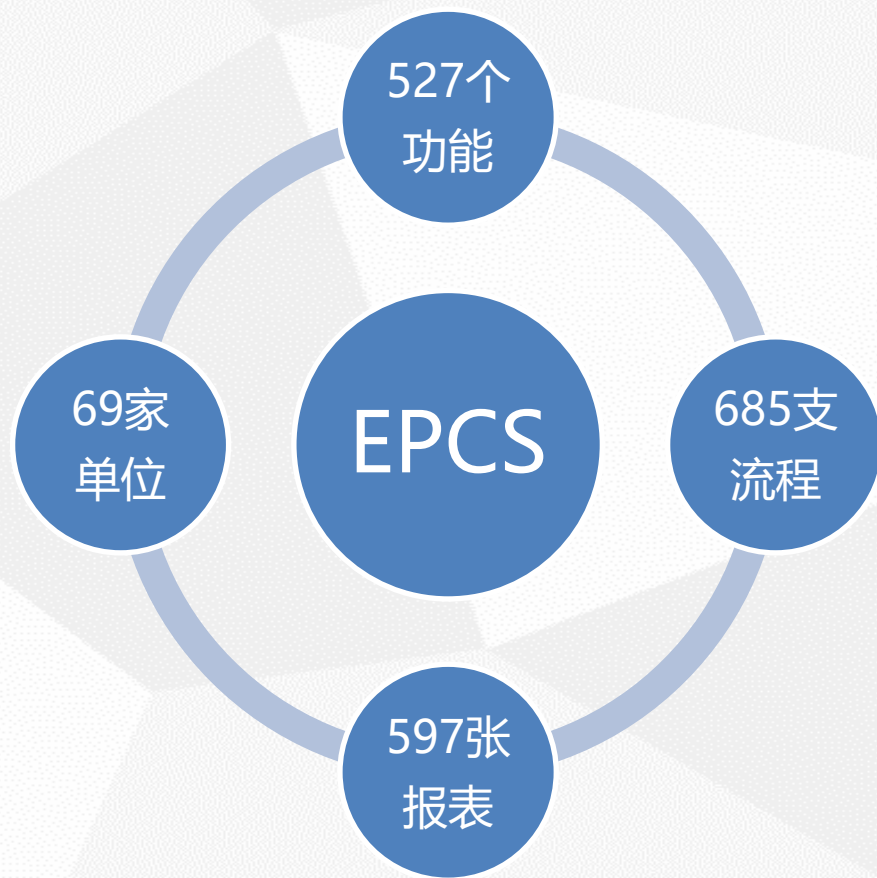
(一) 总体概述

以信息化作为示范工程管理标准化落地的重要手段，以EA企业架构为核心，以数据标准化和业务标准化为基础，建立覆盖核电项目全生命周期、全业务过程的信息化应用。



(二) EPCS一体化管理系统

建立了涵盖核电设计（E）、采购（P）、施工（C）、调试（S）全过程业务的EPCS一体化管理系统，系统围绕投资管控、工程管控、调试管控、试运行管控、设备管控、安质环管控和综合管控七大主线，建立了一套成熟的管理规范和流程。



(三) ERP系统

建设了一套适用于项目前期、工程建设、调试和生产运营全生命周期的ERP系统，系统涵盖财务、物资、项目、生产、安全等业务领域，实现示范工程全寿期经营业务和生产业务一体化管理。



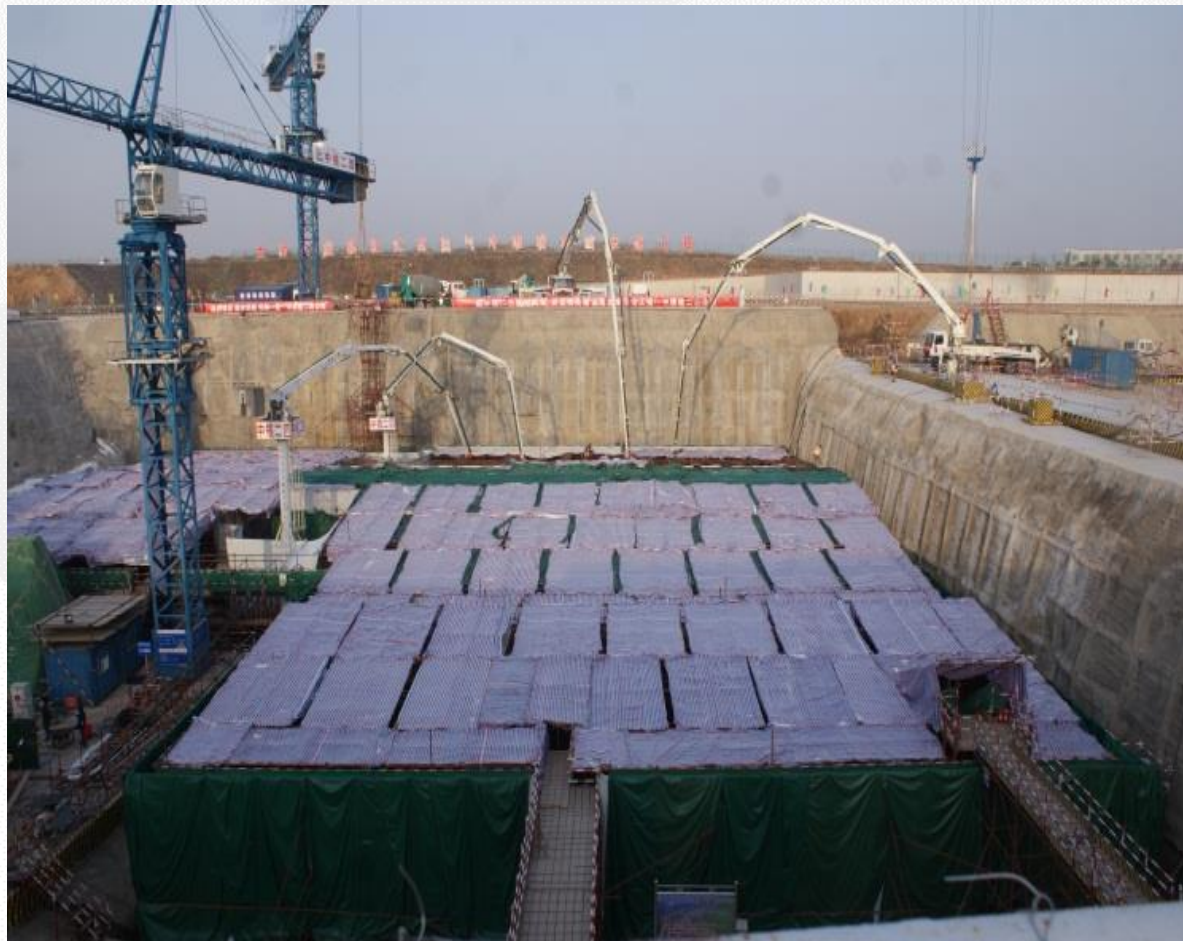
06

案例交流

(一) 大体积混凝土冬季施工

重难点

高温气冷堆示范工程核岛底板呈“L”形分布，其中东、西向为反应堆厂房和乏燃料厂房底板，长68.8m、宽34.5m；南向为核辅助厂房，长44.2m、宽28m。核岛底板厚度3m，累计浇筑量为11410m³，钢筋密集，不利于混凝土下料及振捣密实。底板自2012年12月9日开始浇筑至2013年3月17日完成全部混凝土施工，施工期间跨越整个冬季，为国内冬季混凝土施工提供了参考方案。



(一) 大体积混凝土冬季施工

解决措施

- 为控制异型底板应力集中部位有害裂缝的产生及控制大体积混凝土水化热，采用分层跳仓法分两层六区施工，有效减少了地基对筏板的约束和收缩裂缝，确保了底板的浇筑质量。
- 为创造良好的大体积混凝土施工、养护小环境，同时兼顾施工功效及应对突发恶劣天气的能力，在构建保温棚设计时，采取了以扣件式脚手架为防护棚架体，以“田”字形预组装脚手管+防坠网+彩条布为棚架的快速保温棚封闭体系。
- 为控制混凝土表面干缩裂缝及预埋套管、坑洞周边的应力裂缝，在混凝土浇筑过程中，专门安排人员校正随浇筑混凝土被扰动的抗裂钢筋，保证抗裂钢筋顺直，网眼尺寸均匀，能更好的发挥抗裂作用。
- 为恰当控制混凝土降温速率，根据材料的特性及外部环境温度等因素计算养护保温层的覆盖厚度，根据环境温度及保温的措施计算需要的入模温度并进行实时监测。

(二) 核島外牆清水混凝土

重难点

为进一步提高示范工程核岛厂房混凝土施工质量管控标准，在工程建设初期即确立了核岛外墙采用清水混凝土质量控制标准。

核岛厂房整体外立面尺寸方正，最大高度45.6m，最长边68.8m，结构钢筋分布密集、外墙外侧整体分布抗裂钢筋网片。



(二) 核島外牆清水混凝土

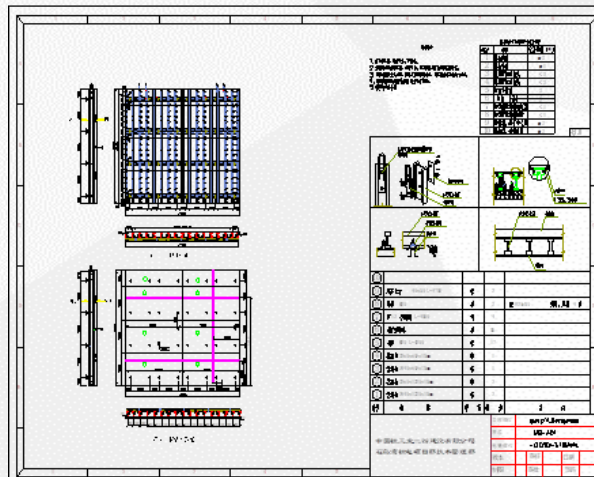
解决措施



通过样板先行，总结提高，不断完善、总结重点注意事项，为正式清水混凝土施工积累大量的素材及施工经验。



由专业班组实施模板加工，模板切口均进行防水封闭、所有拼缝打胶闭水，蝉缝平整度要求用手推摸不得有明显错台感。



根据各厂房尺寸及施工缝、段落的划分进行定制排布，每一片模板均绘制有专门的制作图纸。



考虑钢筋密集部位振捣需要，在钢筋绑扎时即规划好下料及振捣通道，通过调整钢筋排布保证施工空间。

(三) 超深型密闭式竖井群筒仓

重难点

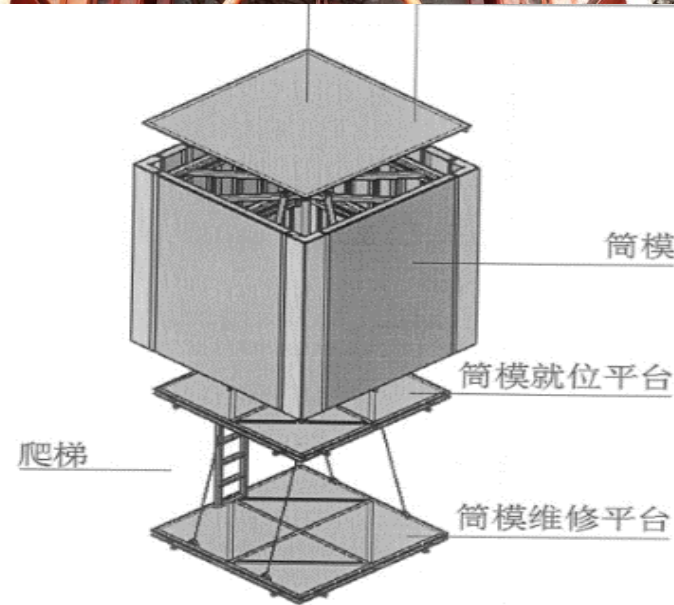
高温气冷堆与其他压水堆型采用了截然不同的乏燃料贮存系统，其乏燃料贮存间采用56个平面尺寸为 $2.5 \times 2.5\text{m}$ 、深度为 30m 的超深型密闭式竖井群筒仓和25个结构封闭空间。竖井群筒仓施工具有结构尺寸小、竖井深度大、精度控制难的特点，竖井井筒内壁对竖井坐标中心允许偏差为 12.5mm 。



(三) 超深型密闭式竖井群筒仓

解决措施

- 现场采用具有单体加固与整体组合加固相结合特性的可伸缩式爬升体系筒模，保证了施工精度和安全要求。
- 通过安装就位平台（一种新型安全隔离平台）解决了普通脚手架浪费和后期难以拆除的问题，更重要的是保证了现场施工的安全要求，大大的降低了筒仓施工安全风险。
- 通过对筒模吊装前收缩，解决了筒模难以就位无法保证墙体垂直的难题；根据增加测量复测工艺（筒模每边加设三个复测点），保证了墙体垂直度要求高的精度要求。
- 竖井群筒仓施工为高温气冷堆核电站建造施工和质量验收提供了施工工艺标准，也为同类型群仓施工提供了宝贵经验



(四) 反应堆压力容器吊装

重难点

高温气冷堆压力容器是目前现有核电站中尺寸最大、重量最重的反应堆压力容器，压力容器主要由筒体和顶盖组成，筒体高度为27.5米、净重594吨，顶盖净重80.5t，外形尺寸 $\text{Ø}6376 \times 2800\text{mm}$ ，在压力容器筒体的尾部有一长度近4.4m的卸料管。

由于卸料管嘴到翻转支耳的距离长达7m，压力容器筒体如果采取常规的旋转法翻转设备，无法实施，根据现场条件，由于翻转支架拟定位置存在基坑，对基坑边缘地基承载力要求较高。同时，尾部鞍座与翻转耳轴距离较近，翻转支架安装空间有限。



(四) 反应堆压力容器吊装

解决措施

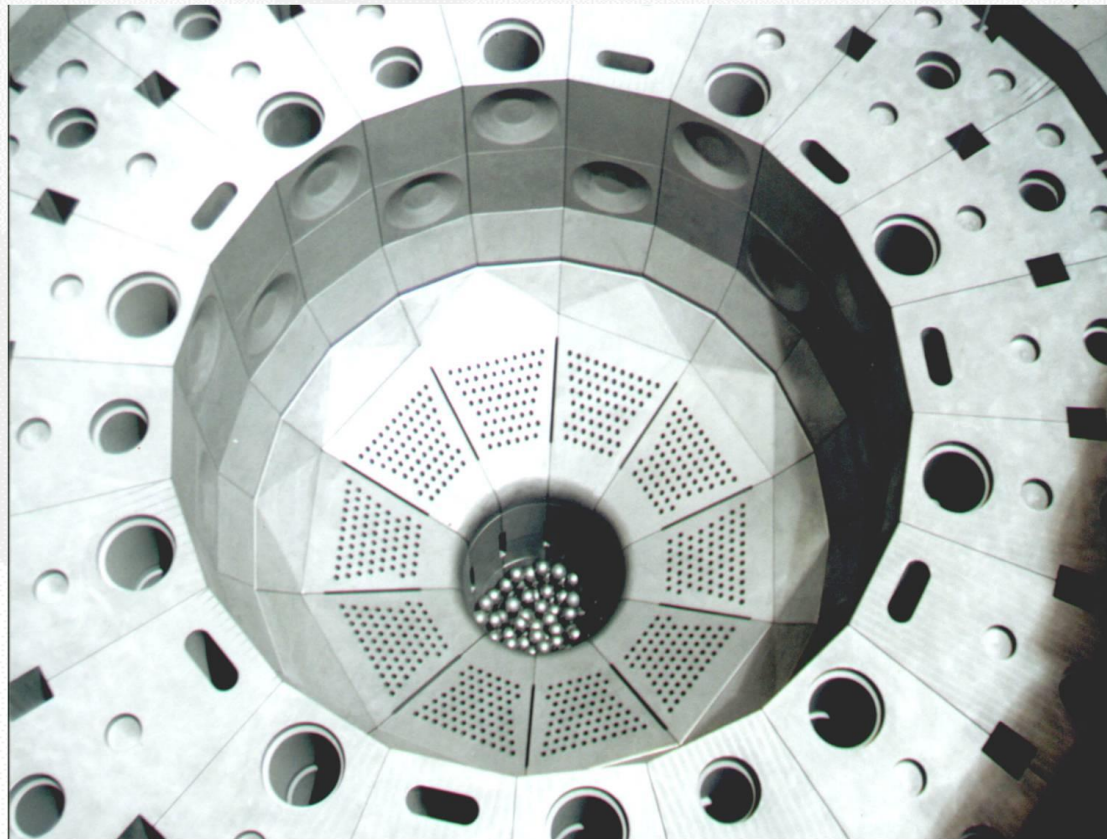
- 吊装前提前开展了针对性的模拟试验、吊索具设计、工装布设以及采用调平配重等备用措施预防，并对吊装过程中面临着双机溜尾翻转、起吊高度高、带载行走、穿孔就位精度要求高、吊装作业时间长等一系列难点问题，科学制定吊装方案，充分论证提前演练，制定落实应急预案。
- 现场经过多次模拟及空间核算，根据现场的条件，最终确定采用施工场地地基加固，重复利用双机抬吊法进行设备翻转。
- 采用双机抬吊法从安全、技术、工艺成熟性等方面来讲更加合理，通过第一台压力容器吊装的良好实践，也证明了双机抬吊的成功。



(五) 石墨和碳堆内构件安装

重难点

石墨和碳堆内构件是高温气冷堆独有设备，它是一个具有堆芯腔的圆柱体，总高16.8米，外径5米，在堆芯中央有一堆芯腔，当量直径3米，等效高度为11.8米。石墨堆内构件由侧反射层、热气室及底反射层、顶反射层组成，总共53层。各层之间用榫、键、销、套管连接成一整体。在石墨的外面包裹着碳堆内构件，碳堆内构件是由底碳绝热层、侧碳绝热层和顶碳绝热层组成。石墨和碳堆内构件各种砖形状复杂，共有200多种类型3158块，榫、销、键、套管、棒附件上万件。



(五) 石墨和碳堆內構件安裝

解決措施

- 石墨和碳堆內構件結構複雜、部件種類及數量多，每一層安裝都要控制石墨磚和碳磚的水平度、位置度及磚與磚的間隙，為此從技術準備開始，以十層為一個數據控制基準，減少不施工不符合項數量。
- 為解決安裝期間異物管理問題，專門編制清潔區管理要求，從控制進、出堆芯的人和物品，確保帶入堆芯的任何非安裝物項均被帶出。
- 設計和採用了一系列輔助措施，包括向堆芯運輸石墨磚和碳磚的專用吊具和工装、壓力容器主法蘭面設置激光跟踪儀測量磚體、在堆芯空腔設置安全氣囊等措施，確保了安裝質量和安裝效率。

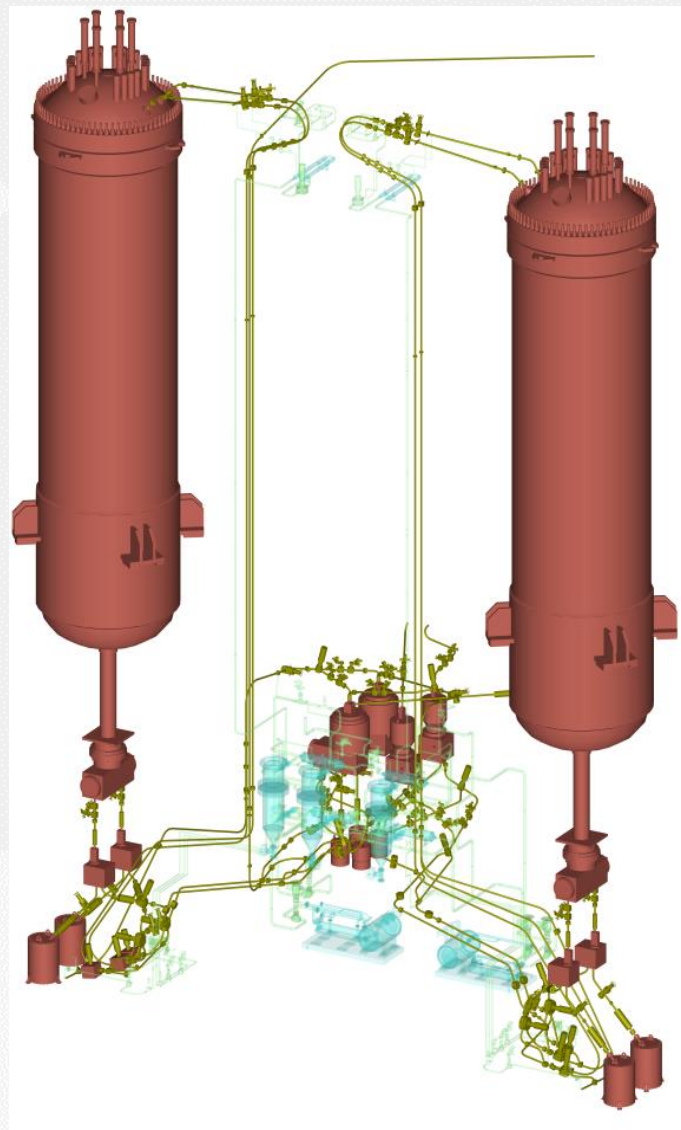


(六) 燃料装卸系统安装

重难点

高温气冷堆采用球形燃料元件运行，在不停堆的情况下进行燃料循环和装卸，满足不同燃料循环的要求。燃料装卸系统是高温气冷堆实现不停堆的燃料装、卸和循环的关键系统。

燃料装卸系统中对管道和设备的氦气密封、放射性屏蔽提出了更高的要求，尤其是本系统中过球管道、过球设备与介质为气体或液体的管道和设备相比有其特殊的要求，仅球路管道就有765道焊口，而且焊接时需严格控制背面余高，以满足通球试验要求。



(六) 燃料装卸系统安装

解决措施

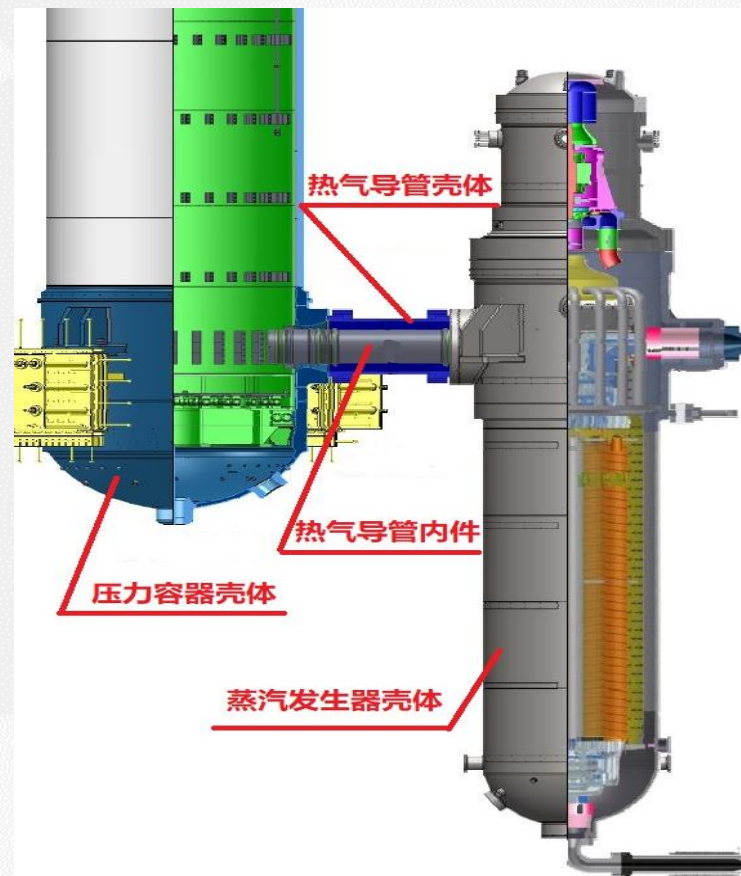
- 针对燃料装卸系统结构复杂，安装物项繁杂的问题，现场通过施工策划和组织，对系统的特点进行集中分析讨论，制定了可靠的施工逻辑与顺序，确保系统安装逻辑可行性。
- 针对球路的特点，其管道的焊接要求较高，焊缝的背面不能留有余高，现场创新提出了“T”型坡口的形式，较好的解决的焊缝不留余高的问题，为整个球路管道的安装提供行之有效的解决途径。
- 在安装阶段，为验证各工艺段过球能力、验证输送转换设备性能、测试工艺控制及逻辑，组织对堆芯卸料、燃耗测量、堆芯进料、暂存装置进料和暂存装置排料5个工艺段进行了工艺段试验，提前发现了影响系统可靠稳定运行的工艺设计和设备制造问题。

(七) 三壳组对

重难点

与传统压水堆不同，高温气冷堆没有设置主管道，而是通过热气导管组件将反应堆压力容器、堆内构件与蒸汽发生器连接在一起。其中热气导管将堆内构件与蒸发器内件相连，形成热氦气流入蒸发器的通道以及低温氦气回流反应堆的通道，该过程称为“三壳组对”。

在组对过程中面临设备重量大、高度高，安装精度要求大，施工空间狭小等问题。



(七) 三壳组对

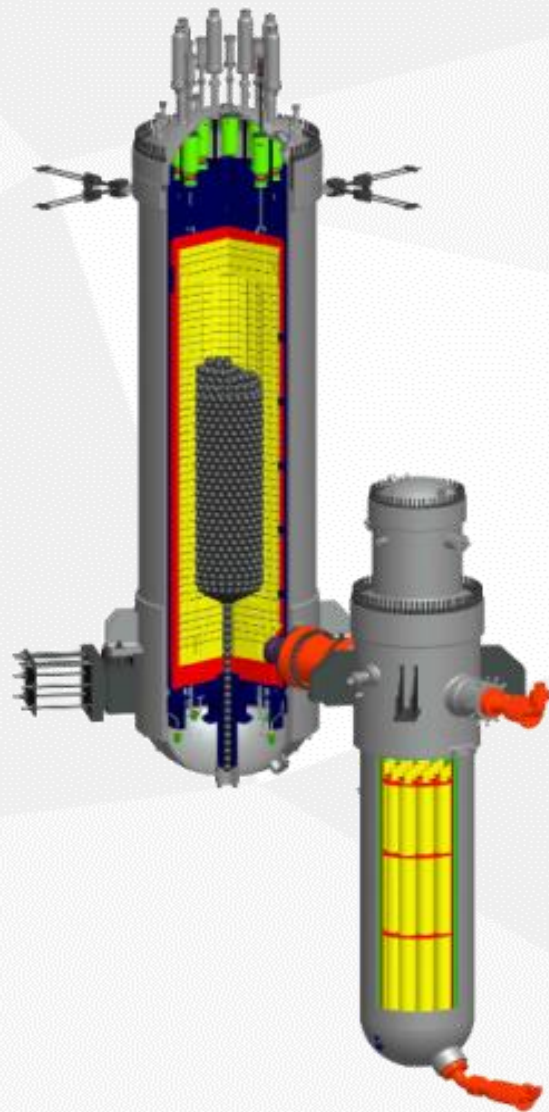
解决措施

- 根据三壳组对施工需求和现场实际情况，在蒸发器舱室内设计了合理的施工平台。该平台由承载平台、导轨和重载小车构成，其中重载小车为热气导管及壳体安装的主要工装，可实现设备的上下、左右、前后及周向旋转调整。
- 开发了自动找正、调平装置。该装置最大负载能达到600t，具备三维六向调整功能，调整精度可达到0.25mm。该装置已获得一项专利。
- 多操作面协同施工。在28m、2m和-11m3个工作面11个施工位置设置施工和观察点，同时监控并根据监控信息调整施工细节，确保设备不受损伤，保证每个安装参数满足要求。
- 采取预组对和正式组对两次施工模式。通过一次预组对来确定蒸发器的最终位置，并通过测量计算、加工配作热气导管调整垫环和蒸发器调整垫板，消除压力容器、堆内构件、蒸发器承重支承等前置物项的制造和安装误差，同时满足蒸汽发生器自身的安装要求，然后再正式组对。

(八) 密封安装质量

重难点

高温气冷堆由于其结构特点，一回路压力边界多以法兰连接，其中单堆压力容器包含142个法兰及管嘴、蒸汽发生器包含52个法兰及管嘴、15个边界阀门、56个仪表阀及临时阀门，且以氦气作为运行介质，试验压力8.0MPa。如何防止一回路压力边界众多的法兰在高温高压的运行环境下发生泄露成为高温气冷堆一回路主设备安装的重点及难点。



(八) 密封安装质量

解决措施

- 一方面从设计入手，设计方针对重要设备特点出具单独的密封面及密封件表面检查要求，便于现场安装阶段有明确的执行标准，同时对于法兰间的连接螺栓，细化安装要求（如螺栓紧固力矩、螺栓力矩紧固顺序、法兰对口平行度及间隙等）
- 另一方面从现场管理要求入手，按照“精细化安装工艺”要求，从安装位置精度、密封面及密封件表面清洁度、密封面外观检查、密封面过程防护、压力边界法兰螺栓的安装及紧固等工作，设置H点进行控制。

经过1#、2#冷试的检验，2#堆总泄漏率为0.158‰，1#堆总泄漏率为0.128‰，小于设计准则要求的1‰，一回路泄漏率好于设计预期。



(九) 主蒸汽P91管道焊接及热处理

重难点

高温气冷堆不同与以往商用压水堆核电站，其特殊性之一就是“高温”，一般核电机组主汽温度只有300℃左右，高温气冷堆核电站的主汽工作温度达571℃，工作压力13.9MPa。因此，主蒸汽管道的选材也大不相同，材质为A335 P91钢，ID267x29mm，这种材质已经在火电机组锅炉蒸汽管道、集热箱、再热器、蒸汽导管等应用广泛，但在核电中属于首次应用。

P91钢焊接工艺与传统焊接工艺相比较为复杂，在焊接时经常出现一些问题，主要体现在焊接电流、焊接热处理等工艺参数不易掌握，进而造成其焊接接头韧性低下、硬度超标，且管道母材和焊材均为国产，需要严格按照ASME标准进行工艺评定及焊接施工。



(九) 主蒸汽P91管道焊接及热处理

解决措施

- 为验证马氏体转变工艺对焊缝冲击的影响，现场分6次制作了6个试验件共计18组焊缝冲击试验（54个试样），通过试验，找到适合国产P91母材的马氏体转变温度和时间，改进了热处理工艺，提高了焊缝的冲击韧性。
- 通过合理设置焊接接头形式、焊接层道数、焊接电流、焊接热处理等工艺参数，掌握P91钢的焊接工艺性能，制定出一套合理的焊接工艺以达到设计对P91钢焊接接头冲击韧性、硬度等性能的要求，最终满足高温气冷堆主蒸汽管道的焊接质量要求。

| 序号 | 规格 | 焊后热处理工艺 | 马氏体转变工艺 | 冲击结果 (J) |
|----|----------|--------------|----------------|--|
| 1 | ID267×29 | 760°C/150min | 110~115°C/1.5h | 45、29、30 |
| 2 | ID267×29 | 760°C/120min | 100~105°C/2.0h | 70、71、59 (180°-270°) ; 53、35、39 (180°-270°) ; 47、56、52 (0°-270°) ; 61、60、60 (0°- 90°) ; 50、59、60 (90°-180°) |
| 3 | ID267×29 | 760°C/120min | 100°C/2.0h | 32、64、54、29、48、47; 39、48、45、42 |
| 4 | ID267×29 | 760°C/120min | 100°C/2.0h | 54、63、56、62、50、43 |
| 5 | ID267×29 | 760°C/120min | 100°C/2.0h | 53、51、58、53、66、51 (国产焊材) ; 70、57、64、60、53、53 (进口焊材) |
| 6 | ID267×29 | 760°C/150min | 85°C/2.0h | 72、52、58、69、58、48 (国产焊材) ; 50、67、56、67、51、37 (进口焊材) |



汇报完毕，感谢聆听！