

海外“华龙”工法创新与实践

中核集团中国中原对外工程有限公司

2020年11月





目录

CONTENTS

1

“华龙”出海，谱写中巴友谊新篇章

2

守正创新，推动工程建设再上新台阶



Part 1 “华龙”出海，谱写中巴友谊新篇章



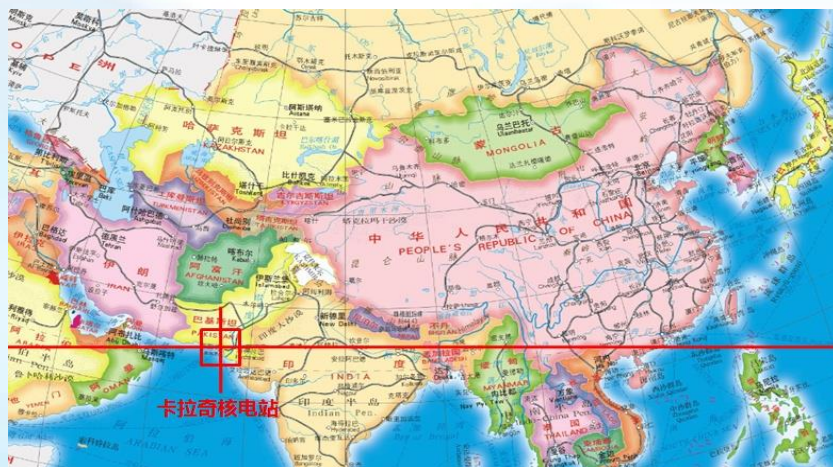
公司简介

- 中国中原对外工程有限公司于1983年4月25日经国务院批准成立，是中国第一个海外核工程建造商，中国唯一实现批量出口核电技术的企业；
- 公司定位：中核集团核电“走出去”专业化平台，以引领中国核能走向世界为己任，为全球核能客户提供全寿期“一站式”解决方案。
- 公司连续多年入选美国权威杂志《工程新闻纪录》（ENR）评选的全球最大250家工程承包商之一，2020年排名第63位，位列中国公司第14位。



1.1 海外华龙首堆工程项目概况

- 卡拉奇项目位于巴基斯坦信德省卡拉奇市，南临阿拉伯海，建设二台“华龙一号”压水堆核电机组；K2/K3机组分别于2015年8月和2016年6月FCD；
- 是“华龙一号”海外首堆工程，对提升我国核电技术的国际影响力，践行“一带一路”倡议和传承发展中巴两国友谊具有重要战略意义。



1.2 项目进展

- 截至2020年10月31日
 - 已累计实现安全生产**2423**天；
 - 项目质量验收一次合格率始终高于目标值，质量趋势平稳、受控；
 - 相对参考电厂福清5号和6号机组进度总体可控、在控。



最大挑战
疫情防控

1.3 卡拉奇项目面临的挑战和困难

- 挑战一：“华龙一号”海外首堆，与国内首堆仅差3.5个月；
- 挑战二：海外项目拖期风险大，安全质量关注度极高
 - 巴基斯坦工业基础薄弱，项目建设极大依赖中国国内资源，包括设计、设备材料供应、运输、技术服务等，需要超前谋划；
 - 本地工人技能水平不高；
 - 巴基斯坦本地化项目管理难度大；
 - 安保形势严峻，制约因素多，劳动效率低。



Part **2**

守正创新
推动工程建设再上新台阶



2.1 工法创新策划

- 为履行国际总包合同责任，确保项目安全和高质量是中国中原K-2/K-3项目建设的总要求；
- 优化工期、降低成本，控制风险是项目的总目标。
- 2014年开始，中国中原基于在巴多年建设核电的经验和卡拉奇项目的特点，提出了堆腔模块化及主设备预引入的方案设想，邀请国内叶奇蓁院士等专家进行可行性评审论证，得到专家认可。



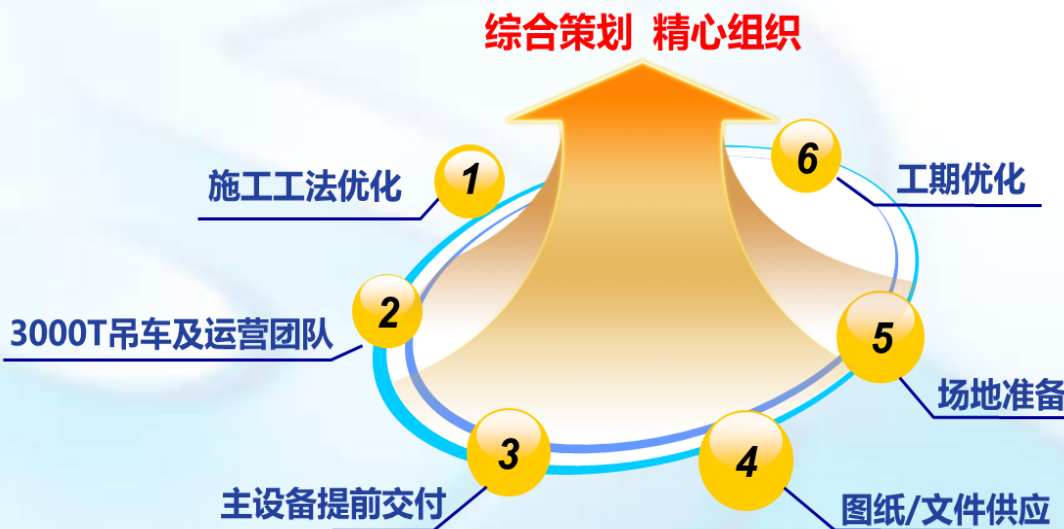
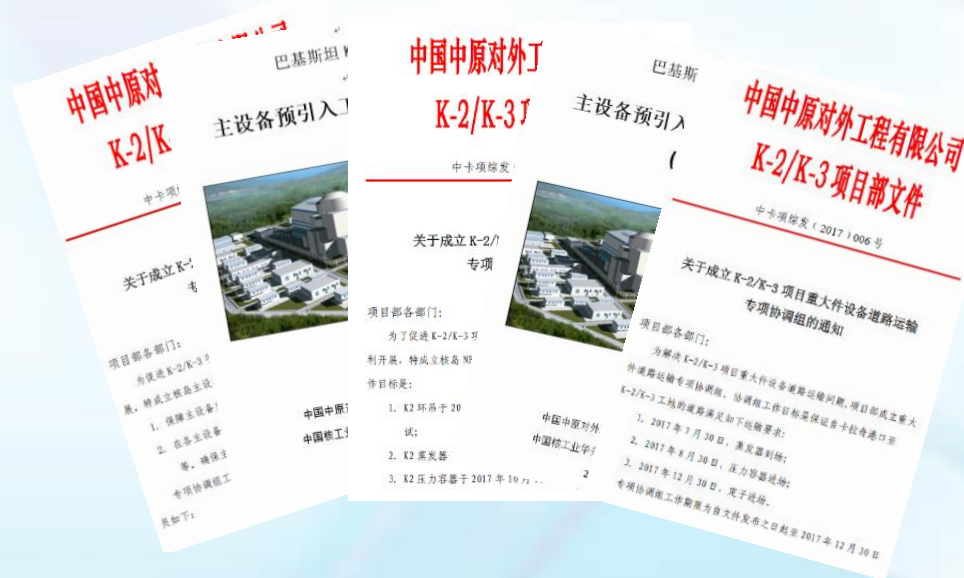
叶奇蓁院士等专家对预引入方案进行
评审论证



与各承建单位签署主设备预引入工作
签署承诺书

2.2 工法创新综述

- 2017-2019年间卡拉奇项目陆续实施了包括**堆腔水池模块化施工、环承梁/环吊整体吊装、压力容器/蒸发器预引入、e型翻转支架、预应力张拉双平台**等在内的主设备预引入组合工法在K-2/K-3项目上成功应用，使主设备安装工作得以提前开展，不仅提升了安装质量和本质安全，也有效缩短了主线工期，进一步提升了“华龙一号”核心竞争力。

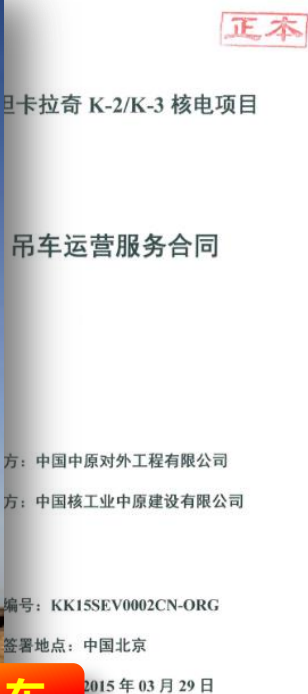


2.3 准备工作

- 确定主设备预引入方案后，中国中原采取提前采购3000T大吊车、优化主设备供货周期、现场施工作业深度交叉等一系列措施，确保了设备预引入按期顺利实施。



提前采购大吊车



K-2机组主设备到货计划（当时现场需求分析）

	设备名称	预计到场	现场安装	备注
1	环吊	2017/4/25	2017/5/5	满足
2	压力容器支撑环	2017/5/30	2017/8/1	满足
3	RPV金属保温层	2017/6/30	2017/8/21	满足
4	堆外核测定位置装置	2017/5/15	2017/7/15	满足
5	蒸汽发生器支承	2017/7/10	2017/7/21	满足
6	主管道	2017/7/30	2017/8/29	满足
7	波动管	2017/7/30	2017/8/29	满足
8	蒸汽发生器（3台）	2017/8/30	2017/8/30	满足
9	压力容器（1台）	2017/9/30	2017/9/30	满足

优化主设备供货周期

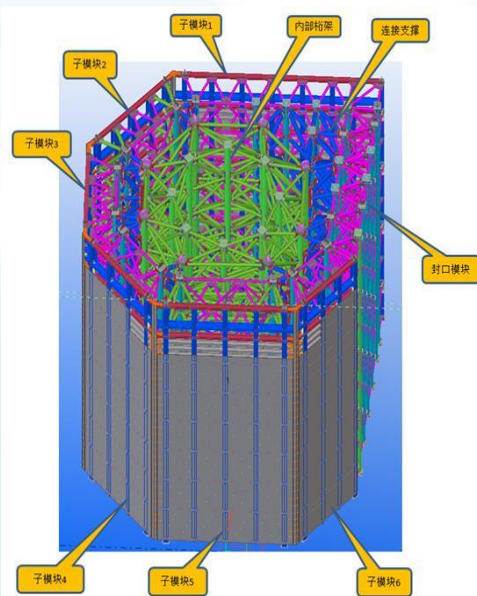


2.4 组织模拟试验验证，确保万无一失

- 开展模拟试验验证，如组织堆腔水池薄壁板模块化变形控制技术攻关，通过多次试验确定焊接参数和背部加肋加强、设计制作专用工装、模拟混凝土浇筑，以控制焊接、吊装、砼浇筑等各阶段变形，确保模块化施工成功开展。



模拟焊接控制变形



堆腔水池模块计算机模型



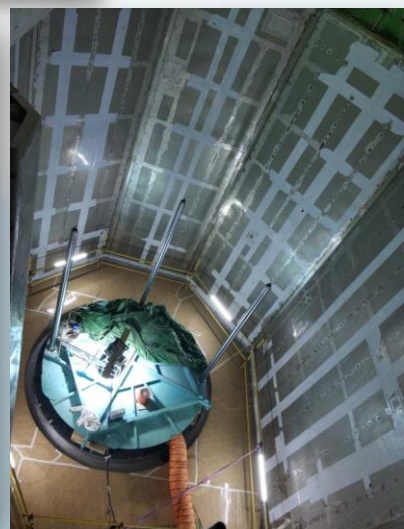
混凝土模拟浇筑试验



2.5 工法创新实践

- 堆腔水池模块化施工后，平整度由10mm降至6.5mm，钢覆面充当模板并与土建施工同步进行，在安装质量提升的同时工期缩短近2.5个月。
- 成功开发环承梁/轨道、环吊大梁整体吊装技术，有效规避干涉，降低安全质量风险。环承梁/轨道吊装工期节约20天，环吊大梁吊装后仅12天即完成调试。

主设备预引入-模块化



2017年2月，K-2机组堆腔水池模块吊装就位

环承梁/轨道、环吊大梁整体吊装



2.5 工法创新实践

- 环吊吊装后，采用主设备预引入法，**穹顶吊装前成功将主设备自厂房顶部吊装就位**，过程更加**安全高效**，**提前7个月**开始主设备安装和主管道焊接，将传统方法中的主设备安装关键路径转为非关键路径。



- 施工场地开阔，易于操作
- 机械化程度高，提高了大型吊装设备使用率
- 主系统和辅助系统的安装工作可提前开展
- 主设备施工不受环吊限制，安装工期得以优化
- 提前7个月启动主管道焊接，将主系统施工从主关键路径上释放



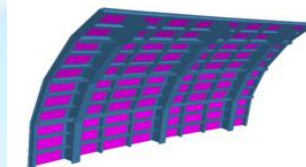
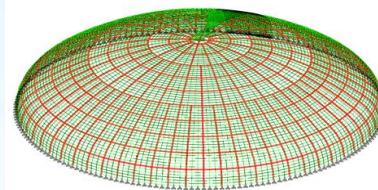
主设备预引入

2.5 工法创新实践

- 主设备预引入后，安全壳预应力施工转为关键路径，中国中原提出并实施了**预应力施工双平台**，增加作业面，水平预应力钢束施工加速开展。在确保安全和质量的基础上，**带来工期释放效应约3个月**。
- 首创实施了**外穹顶整体式免拆钢模板**，自主攻克了设计、施工等诸多难题，一次拼装成型、整体吊装就位，**外穹顶施工质量高**，同时克服了外壳施工条件恶劣、风险高、与安全壳打压试验干涉的不利影响，**节省工期2个月以上**。



预应力施工双平台



外穹顶钢模板整体吊装

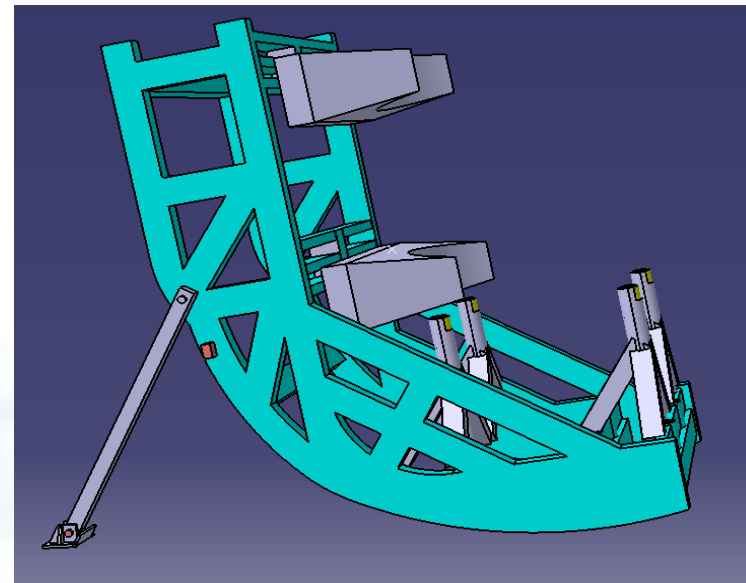
2.5 工法创新实践

- 常规岛方面，利用双行车实施**发电机定子异轨联合抬吊**工法，与传统的液压抬升方法相比，在确保安全的前提下，所需机具更少、操作简单、不影响周边区域施工活动，综合节约投入约3000万人民币，缩短关键路径工期约35天。

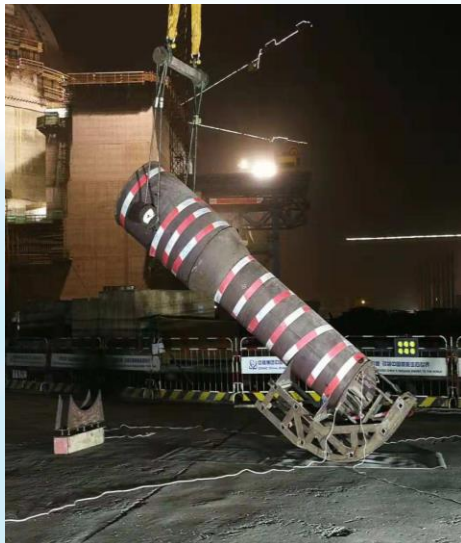


2.6 工法再创新

- K-2机组主设备预引入后，针对设备本体与翻转支架基础处理**时间长**、主设备翻转过程风险高、支架/抱环安装**精度要求高**等痛点，提出了e型翻转支架的方案，主设备在翻转过程中无需固定即与e型架贴合成整体，相较传统固定支架翻转显著提高了**效率和安全性**，节省工期。



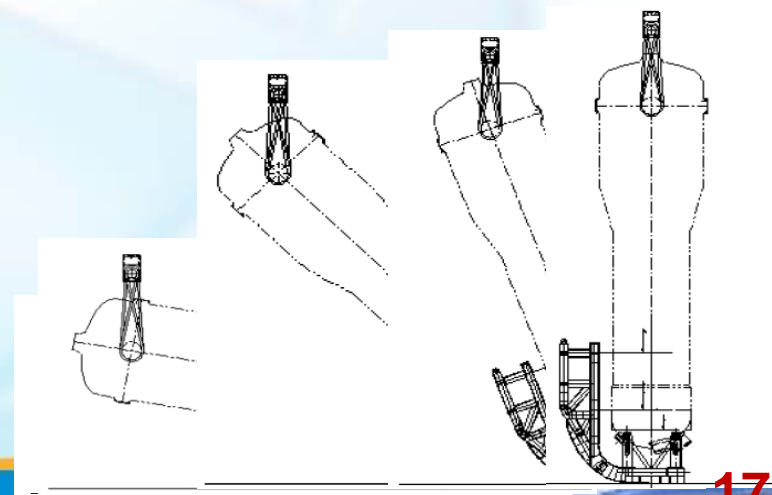
1:20木质模型（构想）



1:5钢制模型（试验）



e型翻转支架



2.6 工法再创新

确保安全和质量

K-2、K-3机组主设备翻转对比



K-2

K-2机组反应堆压力容器预引入



K-3

K-3机组反应堆压力容器预引入



K-2

K-2机组蒸汽发生器预引入



K-3

K-3机组蒸汽发生器预引入

2.6 工法再创新

主设备	机组	起吊时间	摘钩时间	吊装工期
蒸汽发生器	K-2	2017-09-10	2017-09-21	11d
	K-3	2018-08-18	2018-08-24	6d
压力容器	K-2	2017-09-30	2017-10-03	3d
	K-3	2018-09-04	2018-09-05	1d

创造了核电建造史上主设备吊装就位工期最短记录

2.7 小结

- 中国中原在K-2/K-3项目上成功实践了**堆腔模块化施工、主设备预引入、e型翻转支架**等一系列创新工法，保证了施工安全和质量的同时，有效规避了关键路径风险。
- 后续“华龙一号”项目如采用预引入工法，有望节省总工期**4个月**。

主设备预引入清单

机组	设备	数量 (台/段)	机组	设备	数量 (台/段)
K-2	主管道	15	K-3	主管道	15
	波动管	5		波动管	5
	蒸汽发生器	3		蒸汽发生器	3
	压力容器	1		压力容器	1
	一体化顶盖	1		一体化顶盖	1

K-2/K-3项目采用主设备预引入工法安装的设备有主管道、波动管、蒸汽发生器以及压力容器。主泵及稳压器由于制造及供货原因，采用常规法安装。



中国中原作为海外“华龙一号”建设者，在卡拉奇K-2/K-3项目工程建设实践中，提前策划、精心组织，实施了一系列工法创新，在保证安全和质量的同时有效缩短了建设周期，为提升我国核电“走出去”核心竞争力提供了新思路和新方法。

感谢聆听

