



卡拉奇 K-2/K-3 项目建设经验分享

中核集团 中国中原对外工程有限公司

2022.9





CONTENTS

01 中国中原简介

02 卡拉奇K-2/K-3项目情况

03 良好实践与经验分享



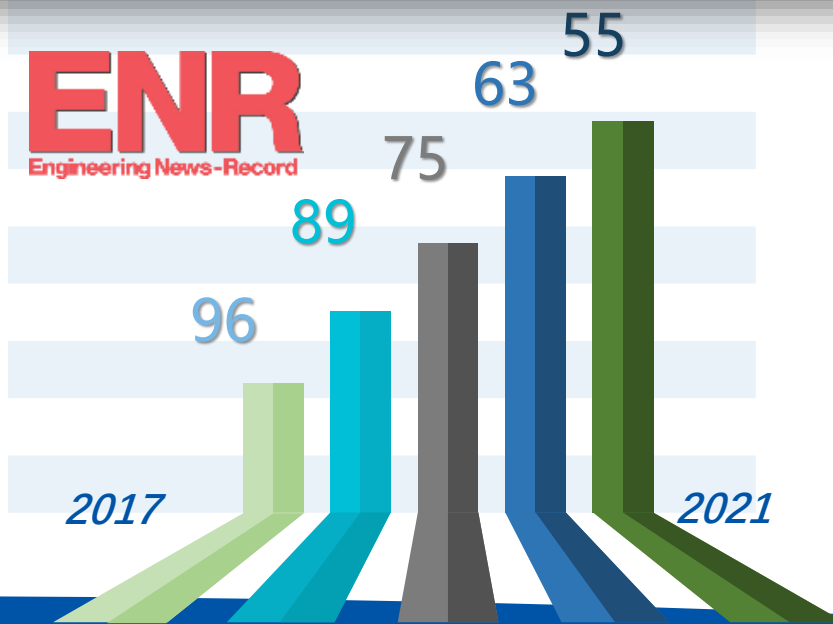
01

中国中原简介

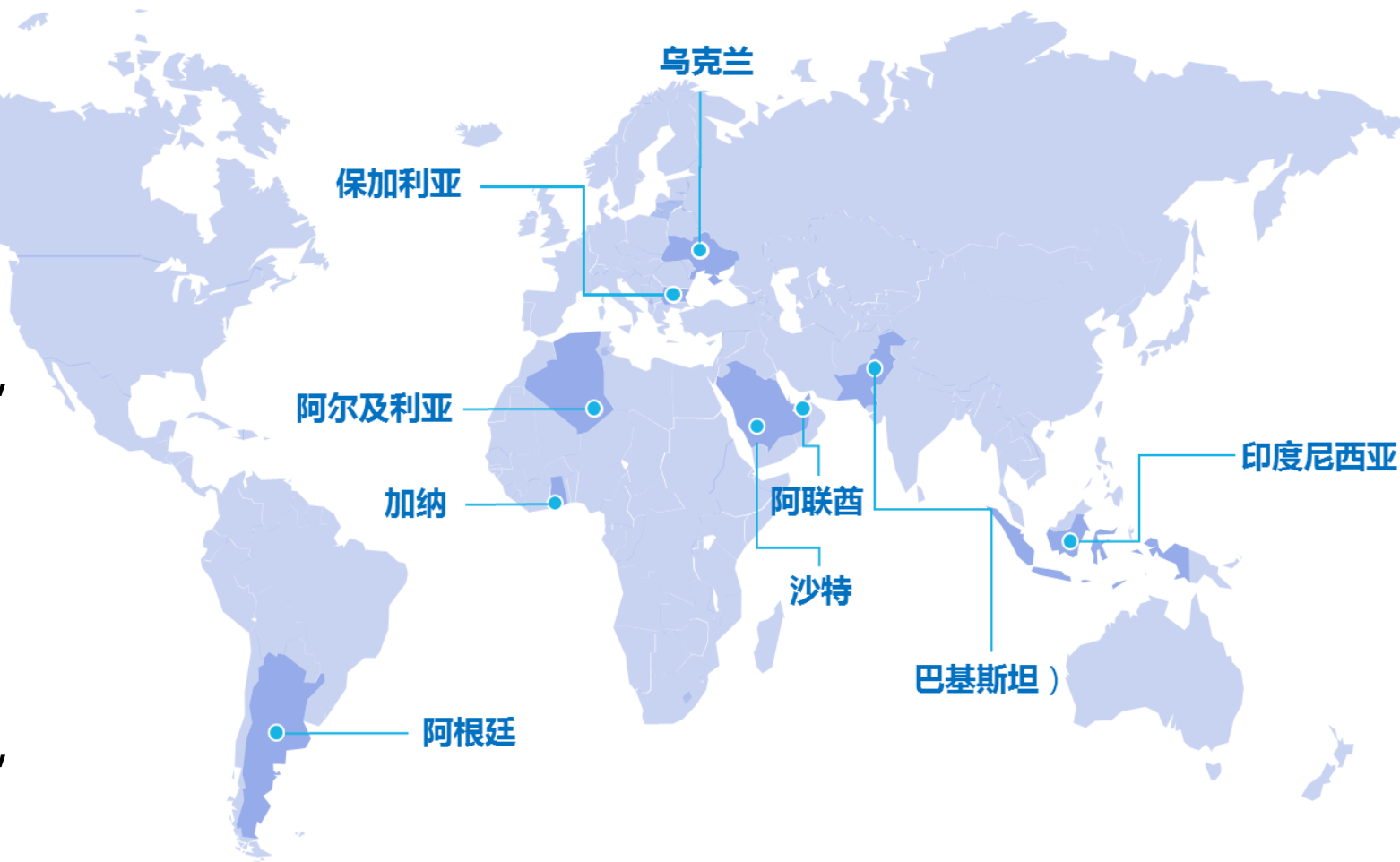


1.1 中国中原简介

- 中国中原于1983年4月25日经国务院批准成立，是中核集团全资子公司，是中国第一个海外核工程建造商，开创了我国核工业走向世界的先河。
- 作为中核集团核能“走出去”产业链链长和国际化经营排头兵，中国中原以引领中国核能走向世界为己任，正努力建设国际一流核能全寿期“一站式”综合服务商。
- 连续10年入选美国权威杂志《工程新闻纪录》（ENR）评选的全球最大250家工程承包商之一，2022年排名第78位。



- 中国中原已在海外成功建设7台核电机组和研究堆。
- 与全球60余个潜在市场国建立公共关系渠道，构建形成“6大区域总部+11个代表处”的全球市场开发网络。
- 系统集成长三角地区核电运维服务优势，提升海外运维综合实力，以“运维小市场”助推“核能大市场”。





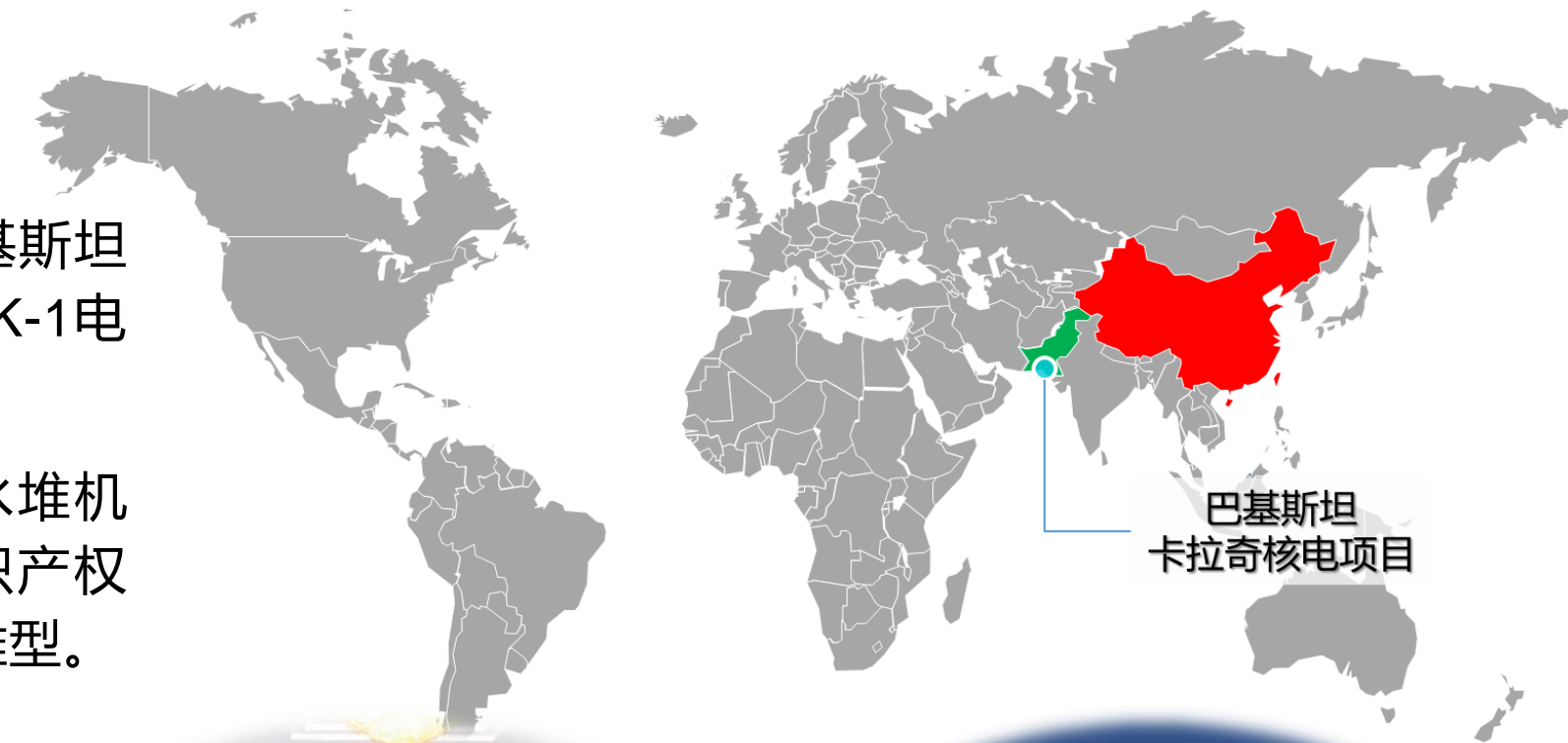
02 卡拉奇K-2/K-3 项目情况



- 卡拉奇（K-2/K-3）项目位于巴基斯坦卡拉奇市，南临阿拉伯海，东距K-1电厂（CANDU）1.2 km。
- 项目规划建设两台百万千瓦压水堆机组，采用我国具有完全自主知识产权的三代核电技术——华龙一号堆型。
- K-2/K-3项目主合同于：

2013年2月18日签订

2014年2月28日生效



巴基斯坦
卡拉奇核电项目





- K-2/K-3项目于2015年8月20日正式开工建设，中巴建设者克服施工水电不足、人力资源不足、物资运输困难、第三国出口受限等不利条件，在阿拉伯海边这片不毛之地建成了巴基斯坦首个采用三代核电技术的百万千瓦级发电站。
- 两台机组分别于2021年5月20日、2022年4月18日成功商运，创造了全球三代核电机组海外首堆最短工期和最佳业绩。

	开工日期	临时验收日期	总工期
K-2机组	2015/8/20	2021/5/20	69个月 (2101日历天)
K-3机组	2016/5/31	2022/4/18	70.6个月 (2149日历天)

- 华龙一号海外首堆工程是中国中原继成功出口巴基斯坦四台300MWe机组（C-1~C-4项目）基础上的又一重大突破，进一步深化了中巴两国战略合作。为当地提供了4万余个就业岗位，支撑起巴方近三分之一的电力缺口，有力促进了巴基斯坦的经济社会发展，助力巴方构建清洁、低碳、安全高效的能源体系。并在第二届“一带一路”能源部长会上获得“能源国际合作最佳实践”荣誉，向“一带一路”沿线国家充分展示了我国具有完全自主知识产权的华龙一号技术的成熟性、先进性。



03 良好实践与 经验分享



- 一直以来，中国中原坚持党建引领、总包统筹、创新驱动的原则，在华龙一号海外工程建设期间，实现了多项重要设备国产化，开创了主设备预引入法等多项新工法，实现全建设周期无安全生产责任事故，20万工时可记录伤害率达到0.11，在K-2/K-3项目建设中创造了国际三代核电海外首堆最短工期纪录和最佳建设业绩，为将华龙一号技术推向世界核能市场奠定了坚实基础，为世界和平利用核能提供中国方案。



3.1 适应海外特点的项目管理模式

- 秉承开放、包容的理念，形成 独特、精简、高效的海外核工程“大总包、小业主、交钥匙” 总承包管理模式。贯彻精细化 管理理念的同时，充分发挥全产业链优势，以视如己出的态度建设好、运行好海外核电项目。



3.1 适应海外特点的项目管理模式

- 投入资源弥补业主在人力、资源、技术方面的不足，确保项目按期建成；
- 整合国内优质资源，为业主提供备品备件、技术服务、咨询等全领域的运维服务；
- 运维介入工程建设，主动挖掘业主需求，提供支持、协助，保障机组运行；
- 以视如己出的心态，高质量完成K-2机组第一次换料大修，全面提升运行业绩。



协助YA施工



设备操作培训



运维技术支持



观摩国内机组首次大修

3.2 因地制宜开展安全管理

K-2/K-3项目安全绩效

16000人

高峰时期现场人员数量

2958天

K项目安全生产天数

0.11

20万工时可记录伤害率

- K-2/K-3项目部始终牢记“安全是核工业的生命线”，将“安全第一”作为最高行为准则，秉承“一切事故都是可以预防的”安全理念，贯彻落实“党政同责、一岗双责”和“三管三必须”的管理原则，建立覆盖全员、全方位、全过程的安全责任体系。

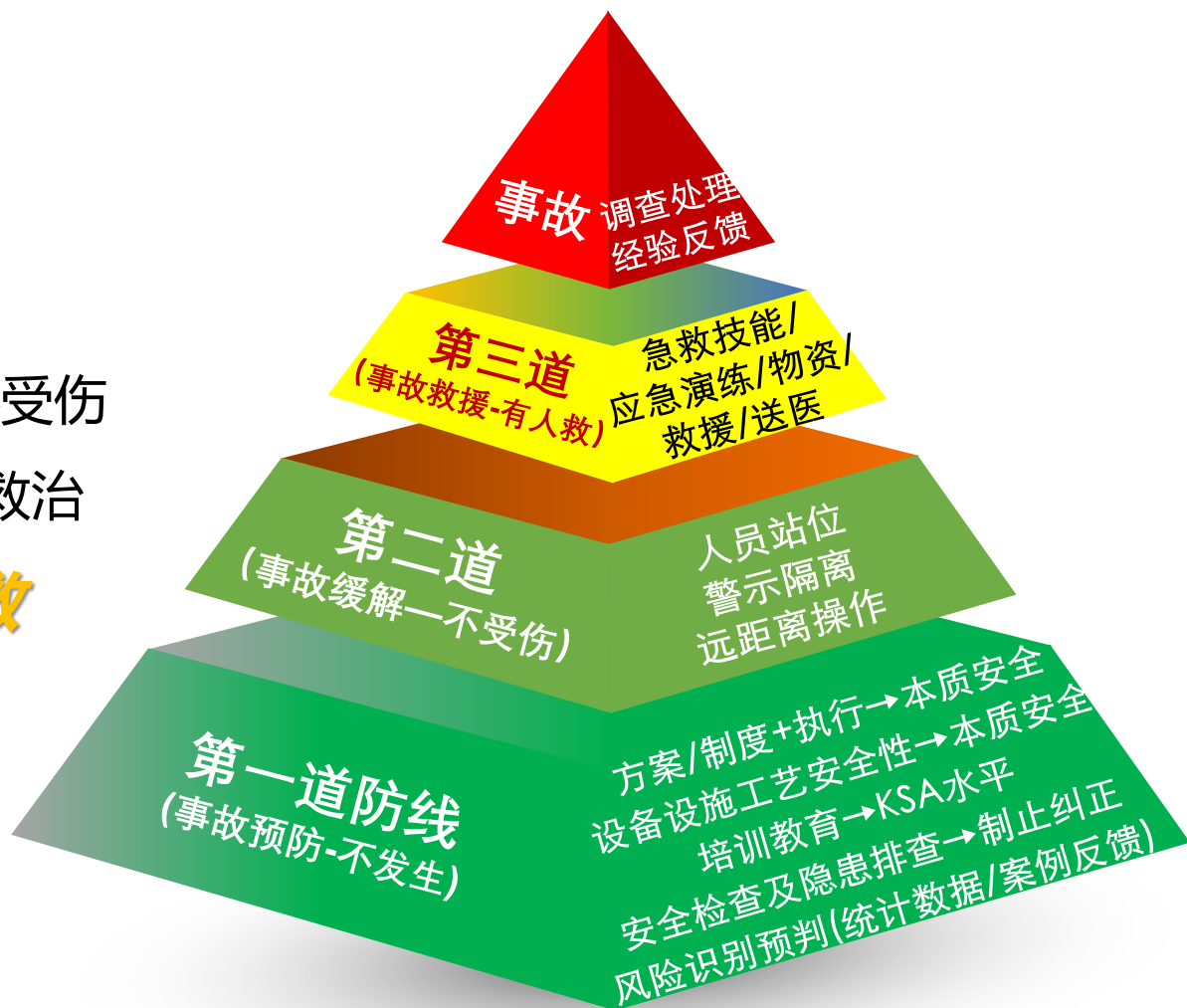
● 理论创新，构建三道防线事故防控矩阵

第一道：防止能量意外释放，确保事故不发生

第二道：避开/阻断能量释放路径，确保人员不受伤

第三道：应急救援准备和联动，确保人员得到救治

简言之，**一不发生，二不受伤，三有人救**



3.2 因地制宜开展安全管理

● 培训先行，建立多维立体式安全培训体系



建立海外首家安全体验馆



开发三语培训教材



多媒体全方位安全文化培训

3.2 因地制宜开展安全管理

● 以巴管巴，以巴带巴，探索实现安全管理本地化



首家全面统一巴工工服
且PPE佩戴最为规范的项目



师带徒培养本地员工



巴籍注册安全员开展巡检

3.2 因地制宜开展安全管理

- “手指口述”，实现班前会规范化、特色化

借鉴国内安全管理经验，并结合巴国特色，在早班会宣读安全誓言，检查PPT穿戴、讲解当日作业风险及应急措施。

先后受到央视、新浪网等多家媒体广泛报道。



3.2 因地制宜开展安全管理

- 强调本质安全，重视技防手段，不断引入安全管理创新技术

车辆加装
倒车影像



吊装作业
冗余管理



塔吊智能化
防碰撞



调试
虎符牌



厂房内用
钢脚手板



安全视频
监控

3.2 因地制宜开展安全管理

- 强调本质安全，重视技防手段，不断引入安全管理创新技术

蓝牙远程
监测仪表



红外热成
像仪监测



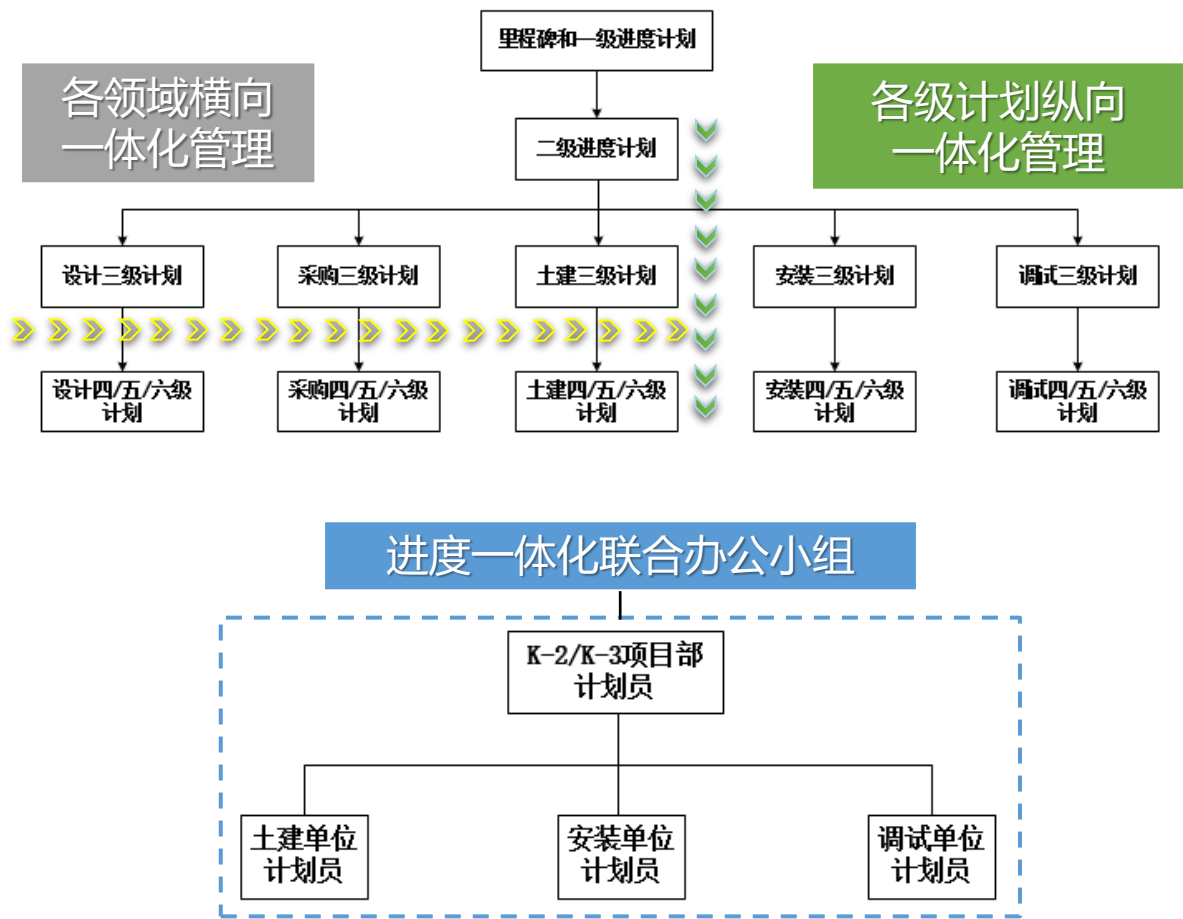
防割手套
围裙



吊物棱角
保护



3.3 进度管理良好实践



- 六级计划+专项、年度计划
- 包含设计、建安、调试的全领域、多层次一体化进度计划
- 大修计划思想引入工程建设
- PDCA全过程闭环进度控制
- TOP10管理
- 进度联合办公
- 沙盘推演

3.3 进度管理良好实践

中国中原全力承担总承包主体责任，运用系统思维，合理统筹国内外资源，深化前后方协作机制，制定了多项工作策略和长效机制：

● 7×24h快速响应机制

建立现场值班队伍和国内设计调试单位的应急响应机制，确保出现的问题第一时间得到响应和落实；

● 跨组织界限的协作机制

整合现场各施工单位、厂家、技术外委单位资源，建立快速抢修机制，保障主线工作的顺利推进。如K-2三废系统、K-3核清洁、K-2主给水泵等；



3.3 进度管理良好实践

● 专项协调会议制度

强化过程管理，确保各项工作有人跟踪、有人负责、有人落实。对于重大技术问题，确保问题处理不过夜；

● 提高效率，缩短试验空窗期

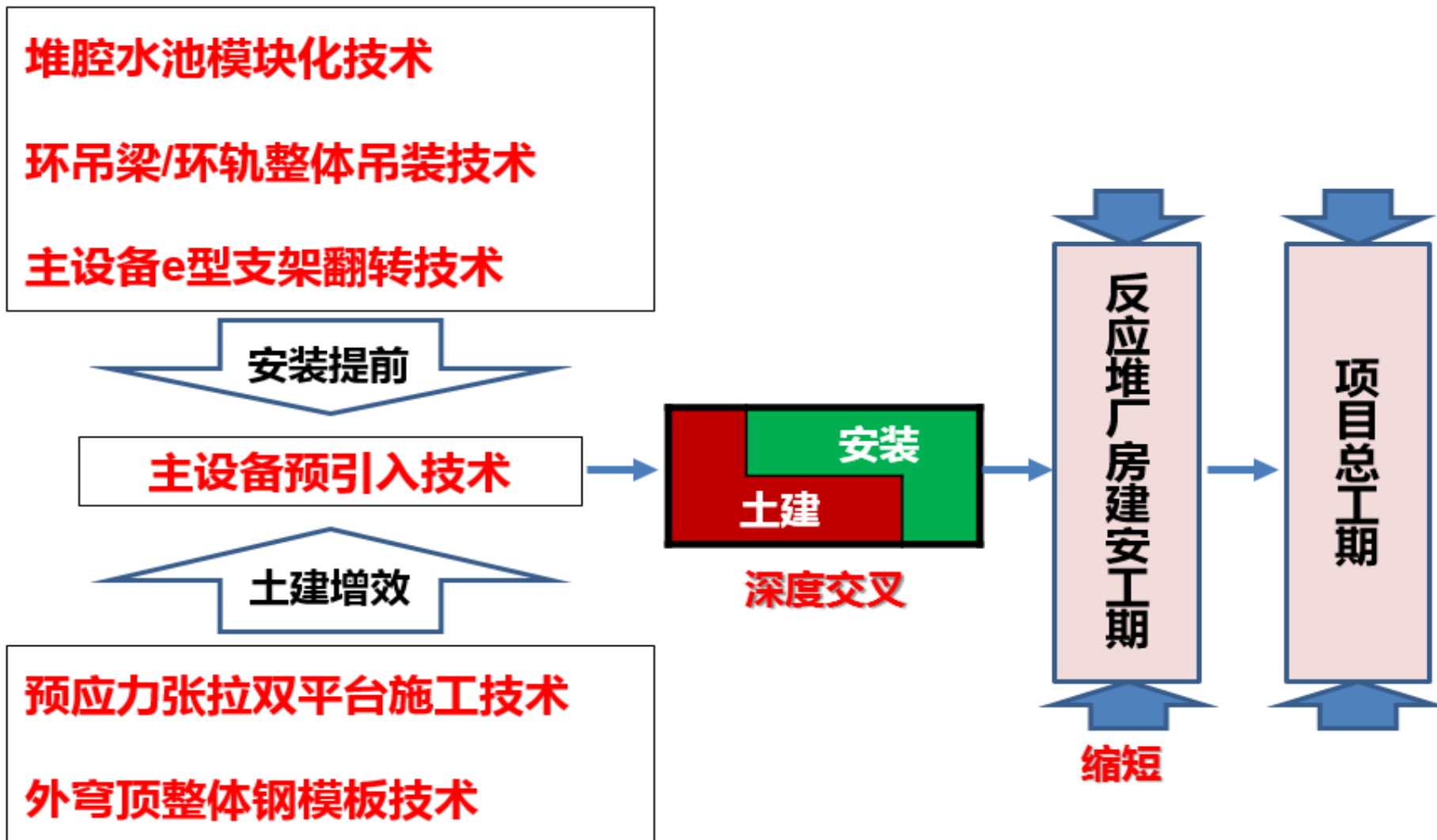
提前开展调试准备和仪控模拟，确保运行状态和调试试验实现无缝链接，缩短各试验等待窗口；

● 经验反馈，提前排除隐患

收集后续各功率平台其他机组的经验反馈，提前发现解决问题，消除试验隐患。



3.4 工法创新

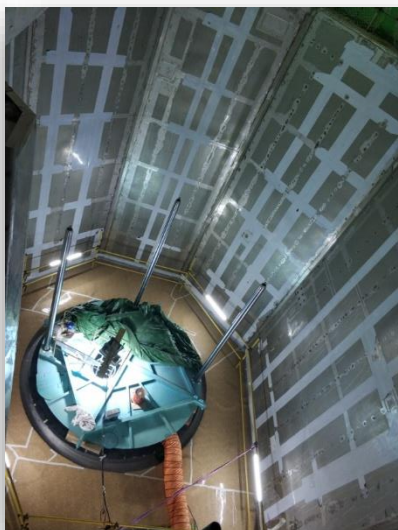


3.4 工法创新

- 采用先贴法，完成堆腔水池模块化施工，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，为提前建立堆腔清洁区创造条件。
- 实现环承梁/轨道、环吊大梁整体吊装技术，地面组装有效规避干涉，降低高空作业的安全质量风险。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。



堆腔水池模块化



环承梁/轨道、环吊大梁整体吊装

3.4 工法创新

- 环吊吊装后，利用3000吨吊车完成主设备垂直吊装就位，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



3.4 工法创新

- 主设备e型反转支架：e型翻转支架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无需固定即与e型架贴合成整体，大幅提高了效率和安全性，降低了现场劳动强度，减少人因失误概率。



传统吊装技术



K-2机组翻转技术



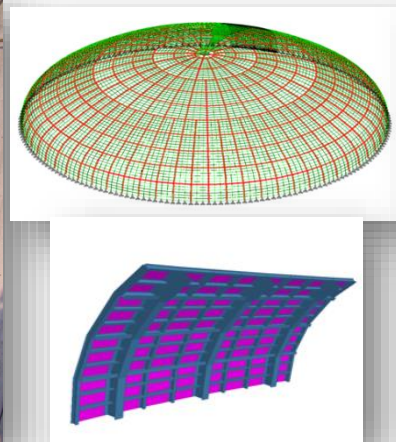
K-3机组翻转技术

3.4 工法创新

- 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技术，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



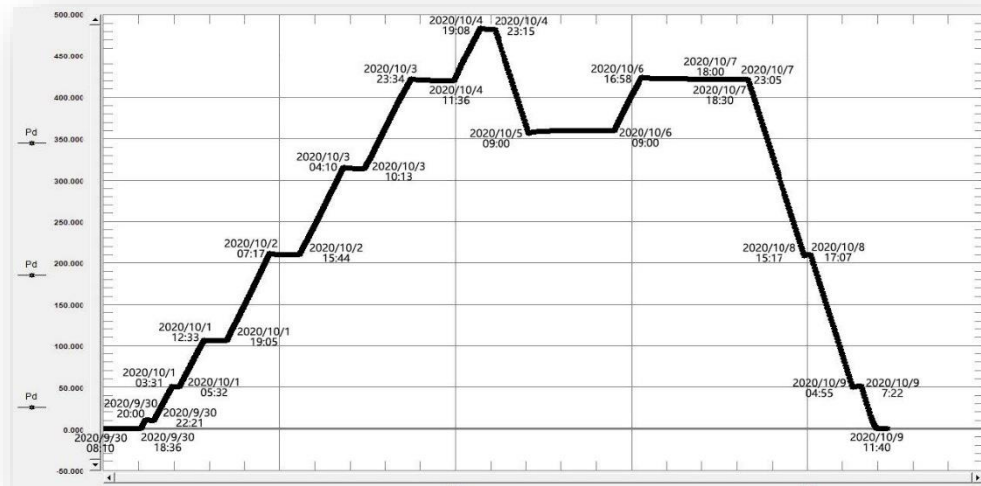
外穹顶钢模板整体吊装

3.5 调试方法创新

- 采用核电厂压缩空气系统成功完成安全壳打压试验。充分考虑利用现场资源，设计以厂用主压缩机为主气源，应急空压机为补充气源的联合打压方案，最大限度提高安全壳升压速率。在未租赁空压机的情况下，试验总工期增加仅数小时，超出计划预期。
- 基于调试期间的成功经验，K-2机组首次大修的安全壳试验依然采用厂内主压空系统作为气源，不仅在计划时间内完成试验，还为巴方业主节省了超200万租赁费用。



主空压机组



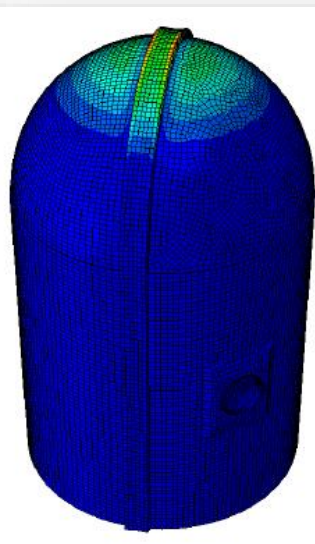
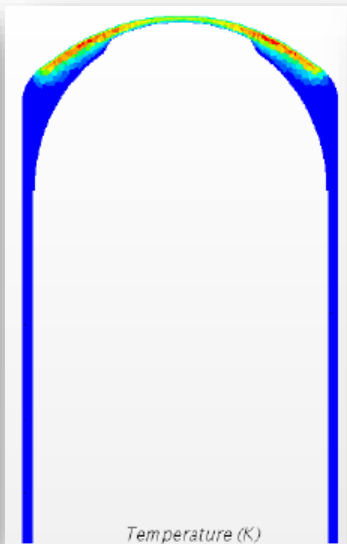
安全壳升降压曲线

3.5 调试方法创新

- 在外层安全壳施工未完成的情况下，K-3机组创新采用“内穹顶竖向变位测量补偿”的方案。通过仿真软件建模模拟分析，并通过搭建一套临时温度补偿测试系统，成功消除温度变化对安全壳结构测量的影响，获得巴方原子能委员会以及核安全局的高度认可。
- 首次实现“华龙一号”在热试前完成安全壳打压试验，节省主线工期约25天。



外壳混凝土未浇筑



内穹顶竖向变位测量补偿试验

3.6 自主研发摆脱西方设备限供桎梏

- 中国中原在开展技术出口的同时，积极带动国内装备制造、产业供应链整体走出去。相较于国内核电项目，海外项目受业主国设备进口受限的影响更大，这在30年前核电首次走出国门时（C-1）便深有体会。作为我国自主研发的第三代核电技术，只有将关键设备制造技术牢牢抓在手心，才能确保项目建设不受制于人。
- 为解决华龙一号技术出口铺平道路，在集团公司龙腾计划的指导下，中国中原协同设计院和31家设备制造厂，开展了K-2/K-3项目主蒸汽/主给水隔离阀、中压安注泵、主泵转速处理装置、水泥固化装置和核安全级控制系统等43项设备的研发工作，打破国外垄断、填补我国多项技术空白，为提升国内装备制造业水平、打造中国核工业品牌影响力贡献了智慧和心血，也为核电“走出去”带动装备制造业“走出去”增添力量。

3.6 自主研发摆脱西方设备限供桎梏

- K-2/K-3项目设备国产化比例达到96%，其中关键成套设备国产化比例达到100%，设备国产化率和设备的经济性指标大幅提升，装备制造的质量、可靠性、可维修性均有保证。多项科研成果不仅解决了出口受限的问题，也为今后国内核电项目提供了解决方案，妥善解决了设备供应链风险大的“卡脖子”问题，有力地保证了华龙一号堆型的深度自主化设计。




水泥固化装置-首次国产化



中压安注泵-首次国产化



辅助给水汽动泵-华龙首创



中国中原将继续坚持市场导向，立足“三新一高”和“六大控制七个零”高质量精细化项目管理要求，充分发挥“链长”和“排头兵”作用，系统整合集团公司内部技术优势和工程经验，发挥全产业链、创新链、供应链的比较优势，提升我国核电“走出去”核心竞争力，实现“华龙一号”国内国际双循环相互促进。

谢谢

THANK YOU

