



华龙一号设计优化与创新

中广核工程有限公司

2022.9





CONTENTS

01 华龙一号首堆特点

02 华龙一号优化改进

03 未来展望及总结



01

华龙一号
首堆特点



1 设计理念

中广核华龙一号采用**安全与经济均衡，先进与成熟统一，能动与非能动结合**的设计理念。

国际最高安全标准

除遵循我国法规标准外，全面满足IAEA、WENRA、EUR、URD等**国际最高安全标准和要求**

先进设计理念

充分吸收AP1000、EPR等三代堆型先进经验，采用能动与非能动设计理念，**全面满足三代核电技术指标**

全面正向设计

从顶层实现要求和方案的匹配，**有效避免二代电厂“补丁式研发”不足**

汲取福岛经验反馈

完善的内外部灾害防护，多样化的严重事故预防和缓解措施，**完全具备应对类似福岛事故能力**

安全与经济均衡

充分考虑安全与经济均衡，相比同类堆型**具备更强的安全水平和经济竞争力**

2 国际认证

华龙一号“走出去”示范项目

中广核防城港二期项目为**能源局指定**的华龙一号“走出去”示范项目，已经通过一系列国际审评认证。

IAEA通用反应堆安全审查

2013年5月，成为**国内首个**通过IAEA通用反应堆安全审查的堆型，机组安全性符合国际安全标准。

EUR（欧洲用户要求）认证

2020年10月，成为**全球首个**通过**最新版EUR认证**的堆型，技术先进性和成熟性获得充分认可。

GDA（英国通用设计）审查

2022年2月已**通过审查**，中广核华龙技术的安全性、先进性、经济性得到英国监管机构认可。

01 华龙一号首堆特点

3 主要技术特征



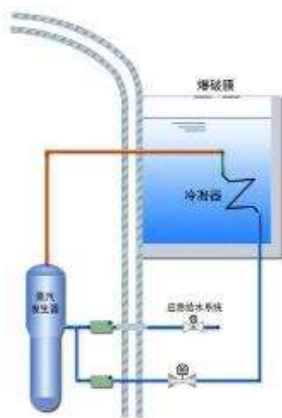
单堆



3系列



177组件



能动与非能动相结合



双层安全壳



强化电源系统



02 华龙一号 优化改进



1 首堆建设的经验反馈

首堆示范项目已完成热试，验证了华龙技术原理和设计逻辑，以及正向设计的可靠性。

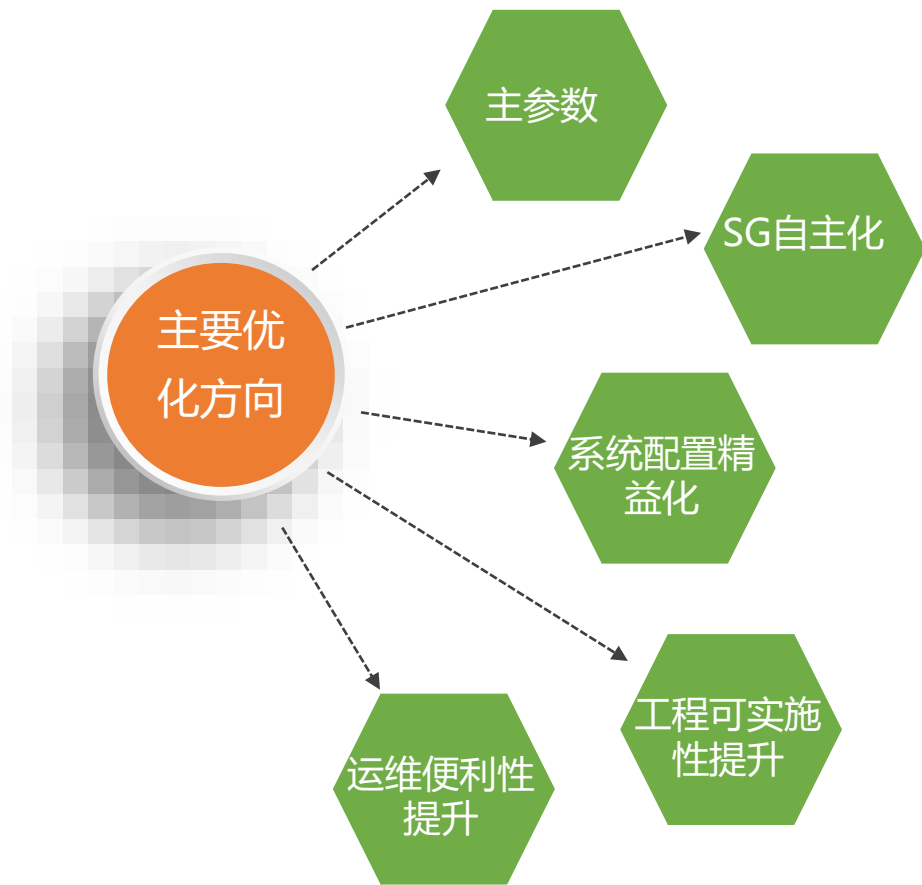
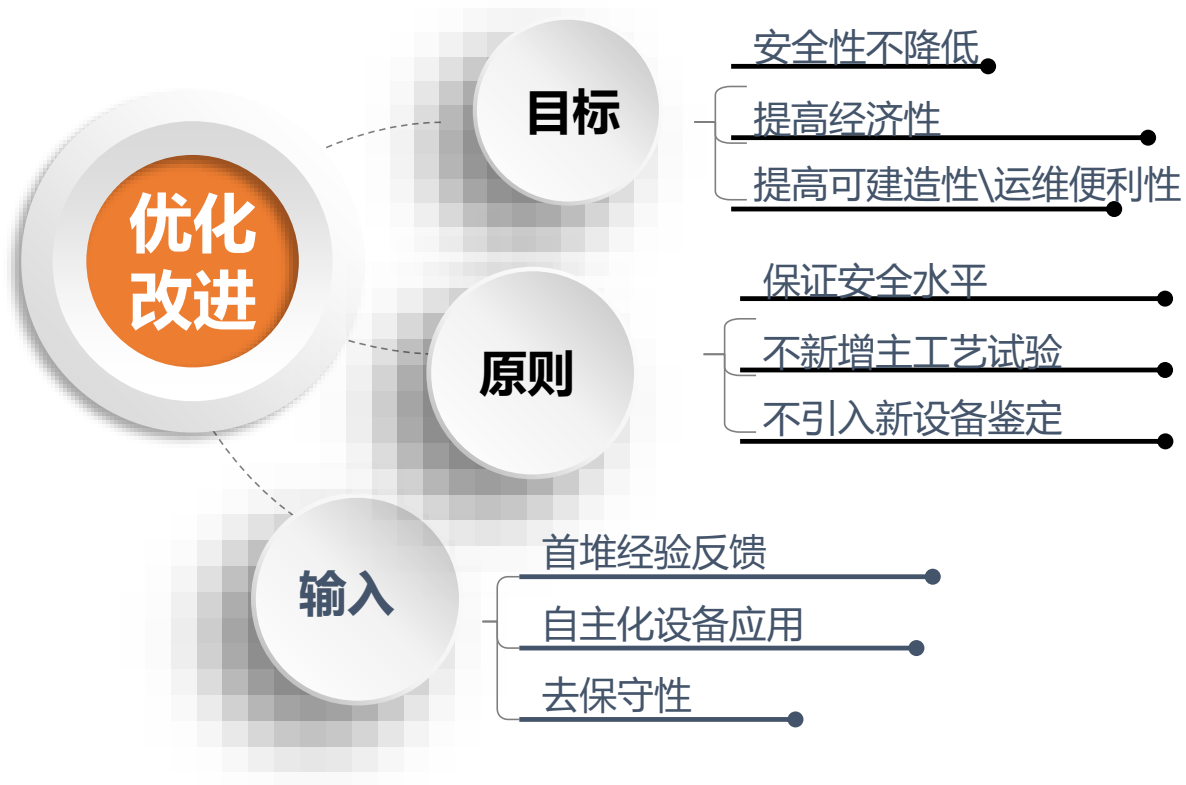
同时首堆建设的困难也体现了技术方案上的不足：

- 主参数偏低
- 设备国产化水平不足
- 安全系统配置豪华
- 可建造性考虑不足
- 运维便利性考虑不足

因此有必要持续的优化技术方案，以提升型号的市场竞争力。

2 优化改进的主要原则、目标及方向

结合首堆建造经验，为进一步提升经济性，可建造性等。在示范项目的基础上，总结首堆经验反馈及融合技术方案要求，针对型号总体方案开展优化和标准化研究，为国内华龙批量化建设及参与国际项目竞争提供技术基础。



3 优化简述-主参数优化



- 问题**
- 堆芯功率较低，安全裕量足，但经济性有缺失
 - 国产化的SG无法与示范项目主参数相匹配

- 挑战及措施**
- 堆芯安全裕量受到挑战；
 - 现有事故分析方法过于保守；（优化事故分析方法）

- 收益**
- 优化主参数，提高平均温度，提高堆芯功率；
 - 配套主设备优化；



3 优化简述-SG自主化



问题

- 主参数匹配性；
- 进口限制（卡脖子）；
- BWC-97型国内制造成本高；
- 工程建设接口多，管理难；

挑战及措施

- 堆芯安全裕量受到挑战；
- 二次侧参数匹配问题；
- 自主化工程应用问题；

收益

- 形成了具备自主知识产权的SG型号；
- 通过自主设计、自主供货，大幅降低采购成本，提高机组整体经济性，双机组上亿元。



3 优化简述-系统配置精益化



问题

- 系统配置豪华
- 部分系统对正常运行、安全均不敏感

挑战及措施

- 在原有方案的技术上进行精益化配置
- 充分运用风险指引的设计思路
- 对SBO\ECS\DEL\RBS等系统进行了合理的优化

收益

- 精益化系统配置;
- 保证安全性不变的情况下, 大幅提升了机组经济性, 双机组降低造价数亿元;



精益化

3 优化简述-可建造性提升



问题

- 华龙研发过程中，未充分考虑技术方案的工程可实施性
- 部分施工逻辑衔接不通畅，首堆工程建设有大量相关经验反馈

挑战及措施

- 优化部分厂房、设备布置（如DER系统、燃料厂房标高等）
- 优化ASP标高
- 先进建造技术及模块化技术逐步应用

收益

- 提升现场施工的便利性
- 缩短施工工期



3 优化简述-可运维性提升



问题

- 华龙研发过程中，未充分考虑技术方案的运维的便利性

挑战及措施

- 优化停堆下PTR\配电盘\柴油机等的维修策略;
- 二次侧解耦改进，便于常规岛提前退出

收益

- 提升运维阶段的的便利性
- 缩短大修工期，提高可用率



02 华龙一号优化改进



标准



安全



先进



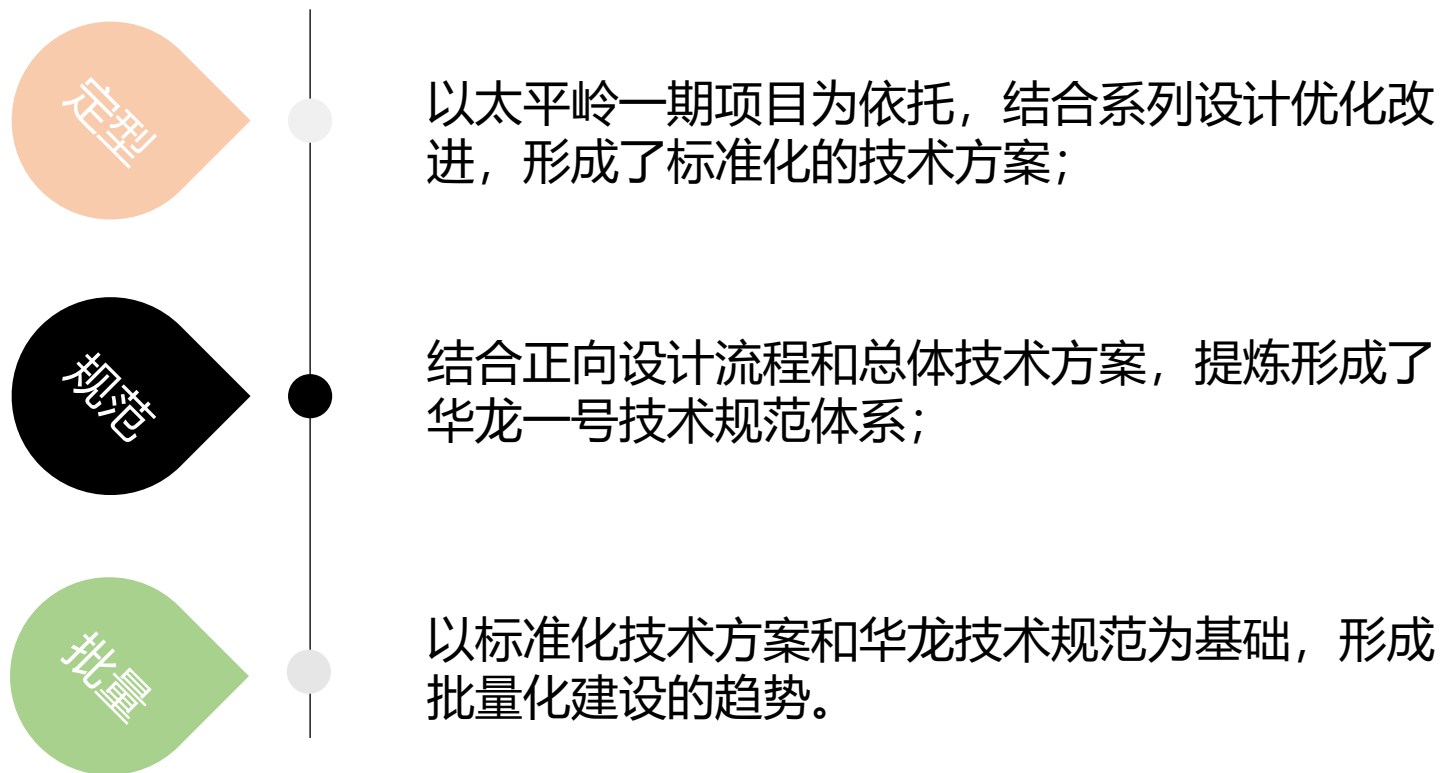
经济



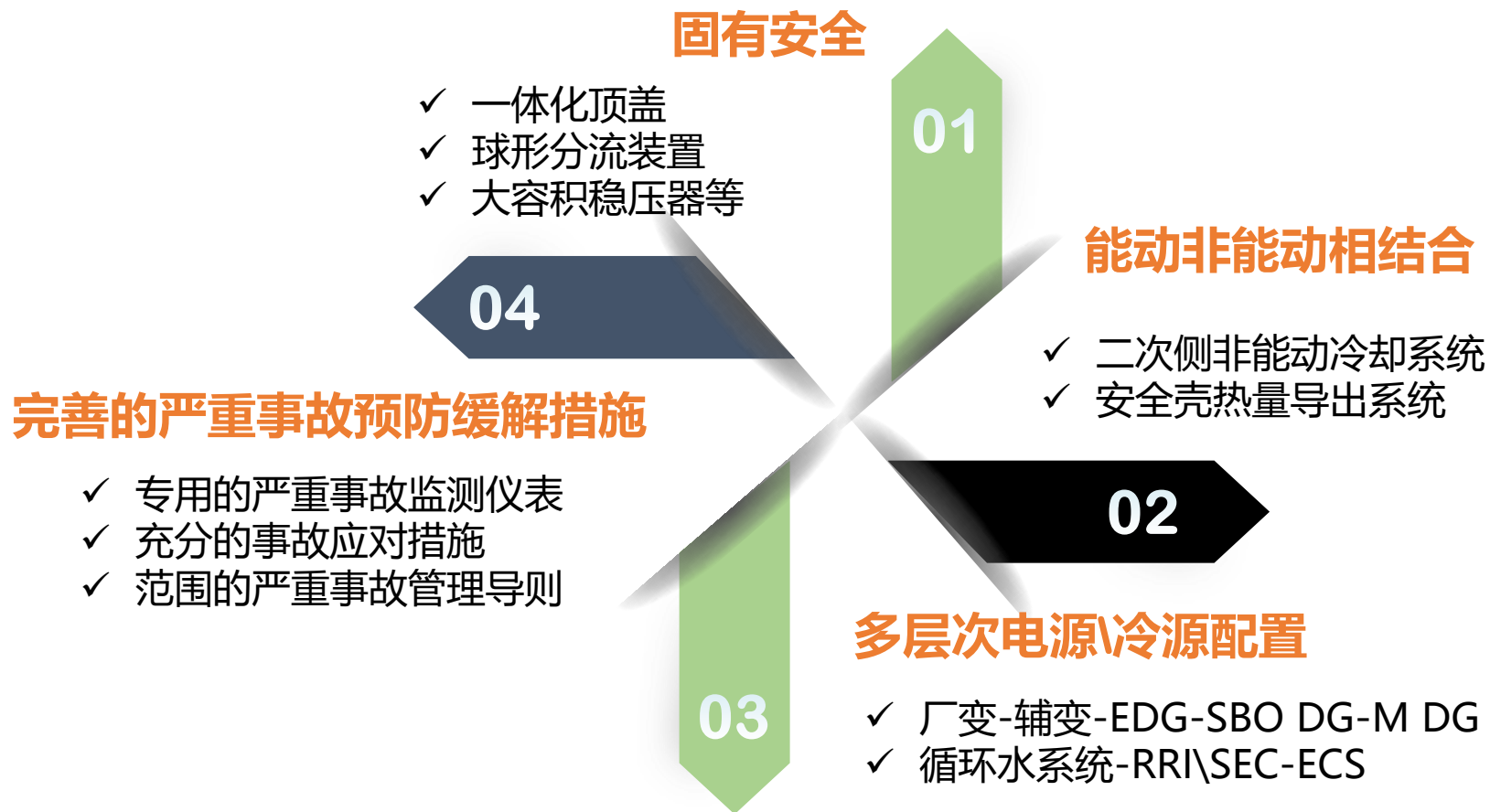
自主



4.1 标准

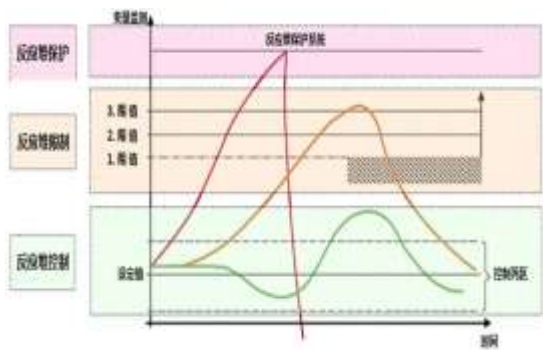


4.2 安全



4.3 先进

- 符合三代压水堆技术要求
- 自主知识产权的先进DCS平台“和睦系统”——已成功应用于多个核电项目
- 多样化驱动系统，采用与安全级DCS不同技术平台——应对安全级平台共因失效
- 先进主控室，采用数字化辅助控制盘——提高人机接口和人员效能，减少人因失误
- 自动监控——降低操纵员负荷，减少人因失误
- 顺序控制——提高机组自动化水平，降低操纵员负荷
- 智能规程——提高操作员运行、事故处理的准确性和便利性
- 操纵员辅助功能（OAF）——提高可用率，避免专设安全系统启动



4.4 经济

施工工期

- 采用模块化技术
 - 包括安全壳钢衬里全模块化施工等，
 - 可大幅改善施工环境，缩短关键路径工期2~3个月。
- 采用主设备开顶法施工
 - 包括大吊机、新型翻转设备、现场施工组织和逻辑重构。
 - 预期可更安全、高效的完成EM2安装，大幅提前EM2的安装，冷试大幅提前2~3个月。



工程造价

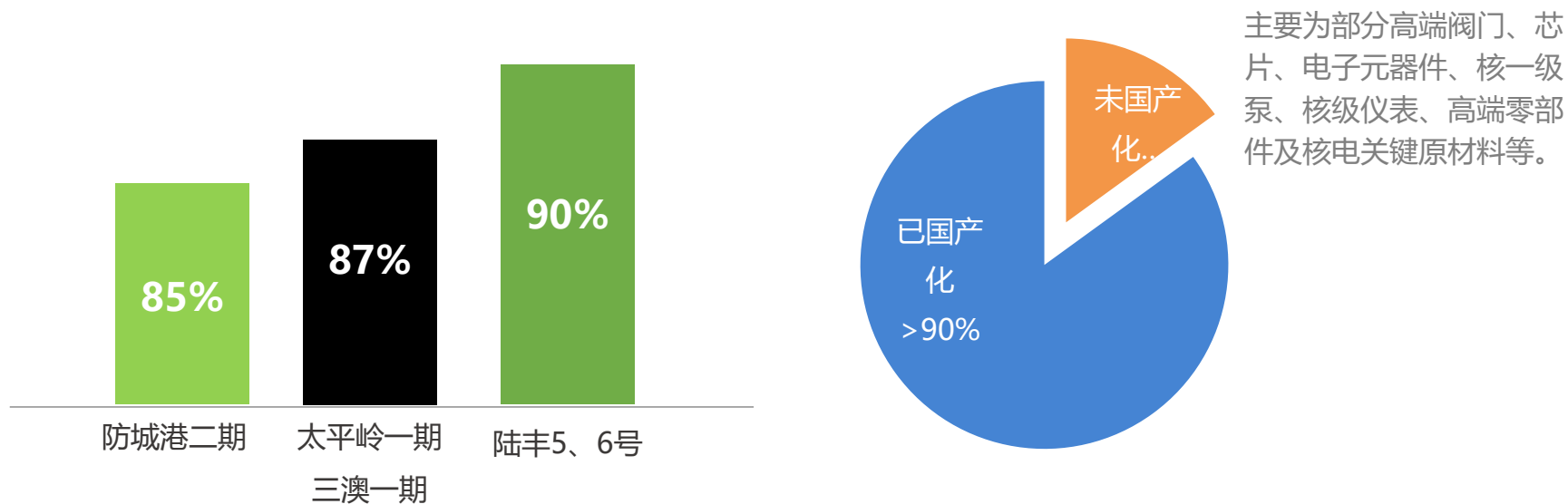
- 系统配置精益化，针对SBO\ECS\DEL等系统进行配置优化，结合SG自主化设计等，双机组降低工程造价10亿以上。

大修工期

- 风险指引的引入，优化乏池事故分析准则
 - 优化卸料模式下的支持系统（电源、冷源）的维修策略。
- 二次侧给水排汽优化
 - 停堆过程中常规岛可提前解列，缩短大修工期5天，提高机组可用率；全寿期经济性提高约10亿元人民币。

4.5 自主

- 华龙一号技术具备完全自主知识产权，已取得相关知识产权801项(含发明专利及实用新型)，设备国产化率已达90%。
- 针对10%尚未国产化设备，坚持底线思维，梳理可能的卡脖子设备，开展自主研发，部署开展“卡脖子”相关核心技术攻关，保障核电安全生产、工程建设，并带动核电产业链的协同发展。





03 未来展望 及总结



国家对核电的规划和定位：作为实现“双碳”目标的主力，核电有广阔的发展空间。根据我国能源发展中长期规划，2022~2025年，每年保持6~8台核电机组的核准开工规模，到2035年中国核电在总发电量中的占比将达到10%。

核电行业的发展趋势：光伏、风电等发电成本逐步降低，核电的造价和全寿期经济性要求更高，经济性成为新一轮核电发展的竞争焦点。

采用先进堆控
提升负荷跟踪
能力

DNBR保
护提升
安全水
平并进
一步提
升参数

DVI技
术优化
安全系
统

安全壳
非能动
热量导
出系统
应对
DEC

先进建
造技术
深入应
用

华龙一号持续提升

核能作为清洁低碳、高效安全的能源之一，已成为全球尤其是我国实现碳达峰、碳中和目标、推动能源转型发展和生态文明建设的重要力量。

中广核基于华龙首堆示范项目的技术方案，总结首堆经验反馈，依托在建项目，开展型号优化和标准化研究，形成华龙标准型技术方案，固化配置，实现批量化，为国内华龙批量化建设及参与国际项目竞争提供了技术基础。并将着重从降低工程造价，减少施工难度和工期，提升运维便利性，提升智能化水平、能源综合利用等角度对技术方案进行持续优化，持续提升华龙一号的竞争力，打造精品核电工程，促进我国能源可持续发展，助力“双碳”目标实现。



谢谢

THANK YOU

