

核电站模块化建造技术研究 成果推介

中国核能行业协会

2022年7月·浙江宁波





CONTENTS

01 课题研究背景

02 课题主要内容

03 后续行动



01 课题研究背景



一、研究过程



为充分分析核电站模块化建造技术特点，进一步提升核电工程建设的安全性和建造水平，中国核能行业协会应有关会员单位的需求，在2021年组织成立课题组，开展了核电站模块化建造技术课题的研究工作。

研究目的

1. 研究核电站模块化建造技术的现状及发展，分析存在的问题及挑战，提出**有建设性的改进和优化方向和建议**，为核电站模块化建造提供技术支持，持续提升核电工程项目建设的安全性和竞争性。
2. 推动行业模块化建造技术的**标准化**。

参与单位

中国核能行业协会
山东核电有限公司
三门核电有限公司
上海核工程研究院有限公司
中国核电工程有限公司
深圳中广核工程设计有限公司
山东核电设备制造有限公司
中国核工业华兴建设有限公司
中国核工业二三建设有限公司
中国核工业第五建设有限公司
中国核工业第二二建设有限公司
中国核工业二四建设有限公司

一、研究过程



启动

- 2021年4月8日，协会组织召开课题组第一次工作会议，组建了涵盖核电站模块化设计、制造、施工等相关领域的18人课题组，会议讨论了课题研究目的、总体工作思路、课题大纲内容、工作计划安排等。

执行

- 2021年5月-6月，各参与单位分别收集国内外，行业内外的模块化建造技术的应用现状，并开展各专项研究，形成专项研究成果报告12份。
- 2021年7月，课题组完成了课题研究成果报告的组稿，针对模块化设计的历史、趋势、原则和目标进行补充研究。
- 2021年8月，完成了首次评审，形成重点建议7项，课题组根据评审意见进行了修改完善。
- 2021年8月，组织院总师层级的5名专家完成课题第二次评审，重点对报告的章节层次、研究重点内容、结论建议等提出了修改意见。

审查

- 2021年10月12日，协会组织课题组在上海召开内部审查会议，课题组成员参加了审查会议，会议回顾了课题研究过程，汇报了研究报告的主要内容，对照任务要求和时间安排对研究报告分章节逐段进行了充分讨论评审。会议形成主要审查意见23项。
- 2021年11月26日，协会根据课题研究的计划安排，组织外部专家审查会，邀请了包括行业协会、核电集团公司、设计院、工程公司、核电厂的8位专家代表对课题报告进行审查。
- 2022年12月，根据审查意见完善报告。

- (一) 我国核电站模块化建造现状
- (二) 核电站模块化建造技术发展需要破解的难题
- (三) 核电站模块化建造技术改进提升的策略

02 课题主要内容



(一) 我国核电站模块化建造现状

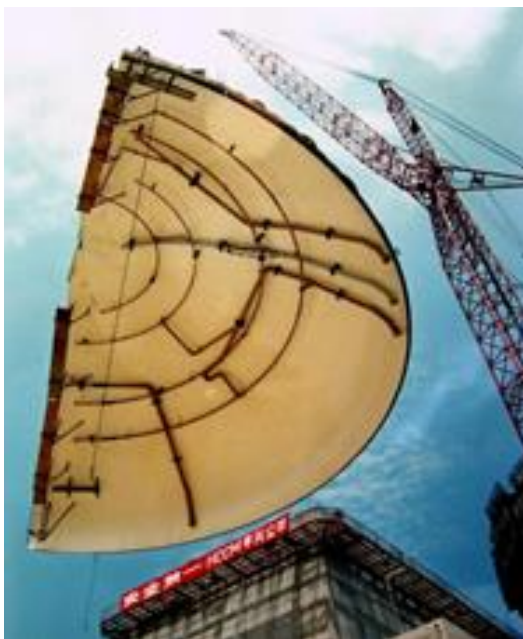


中国核能行业协会
CHINA
NUCLEAR ENERGY
ASSOCIATION

1. 核电模块化传统探索与实践



秦山核电穹顶模块吊装



大亚湾核电站穹顶模块吊装



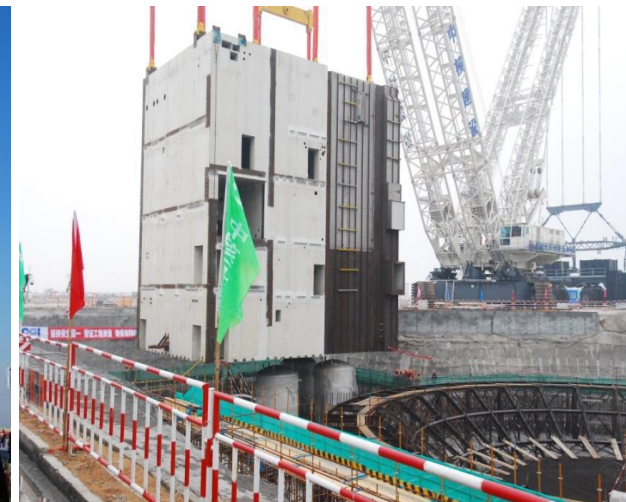
秦山二扩4号机组穹顶吊装就位

(一) 我国核电站模块化建造现状



中国核能行业协会
CHINA
NUCLEAR ENERGY
ASSOCIATION

2. AP1000模块化建造



预制

拼装

运输

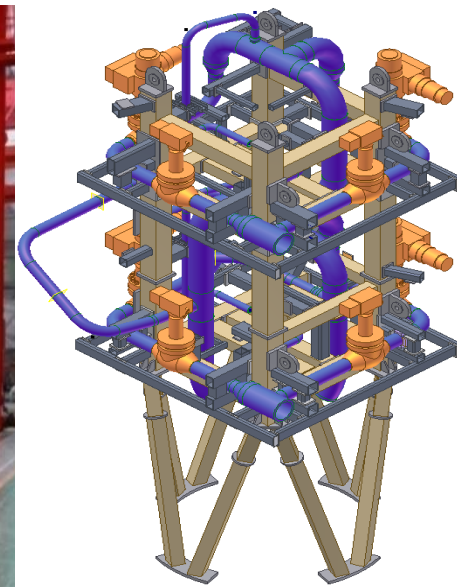
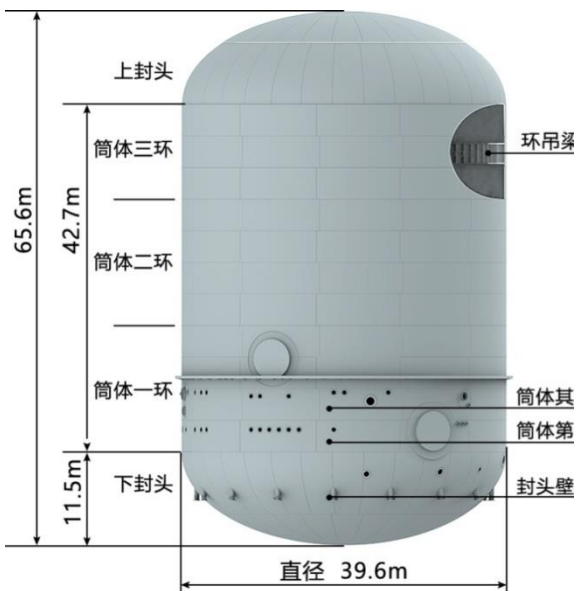
吊装

(一) 我国核电站模块化建造现状



中国核能行业协会
CHINA
NUCLEAR ENERGY
ASSOCIATION

2. AP1000模块化建造



CV 钢制安全壳

SC 结构模块

设备模块

(一) 我国核电站模块化建造现状



中国核能行业协会
CHINA
NUCLEAR ENERGY
ASSOCIATION

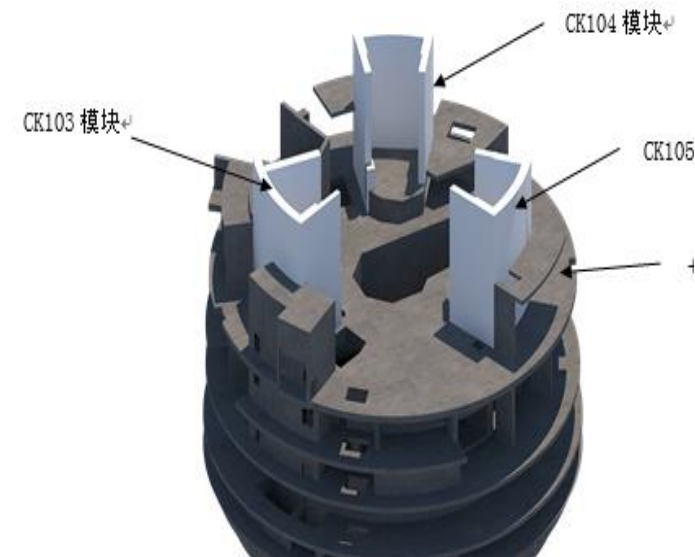
3. 模块化建造在华龙一号的应用



钢衬里



不锈钢水池模块



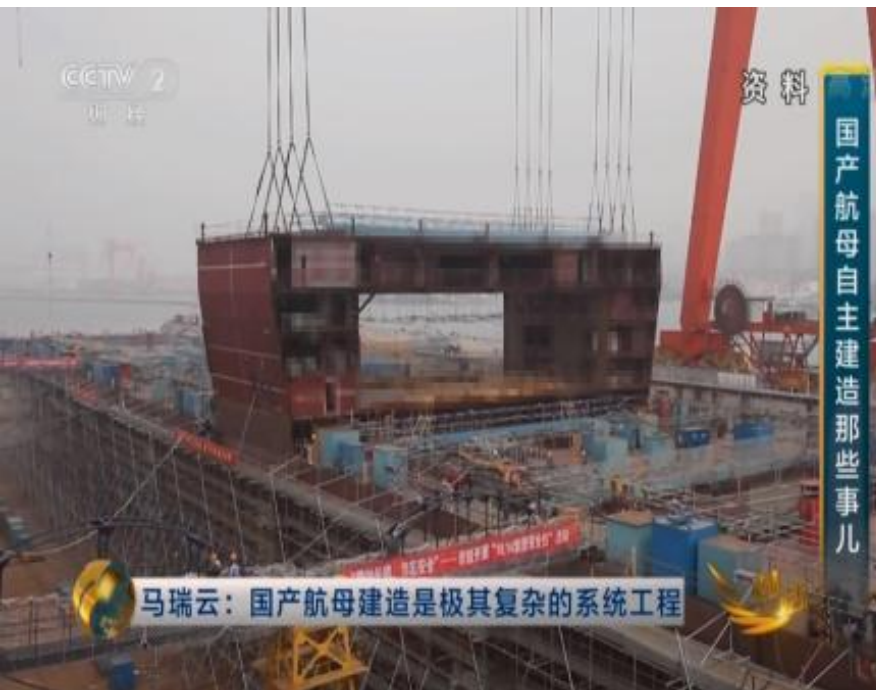
SC结构

(一) 我国核电站模块化建造现状



中国核能行业协会
CHINA
NUCLEAR ENERGY
ASSOCIATION

4. 模块化建造在其它行业的应用



造船行业



路桥工程



海上能源项目

(一) 我国核电站模块化建造现状



中国核能行业协会
CHINA
NUCLEAR ENERGY
ASSOCIATION

4. 模块化建造在其它行业的应用



新能源



民用建筑

（一）我国核电站模块化建造现状



『认识』

1. 模块化是建造工业发展的成果，也是未来建造发展的方向。
2. 我国核电模块化建造尽管有了一定的发展，但模块化程度与其它行业相比有较大差距。
3. 模块化建造技术日趋发展成熟是解决我国核电建设面临挑战的有效应对之一

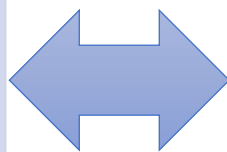
（一）我国核电站模块化建造现状



『认识』

我国核电建设面临的挑战

- 对核电项目安全性和经济性的需求不断提高；
- 设计标准提高，建造难度增加
- 缩短建造工期和降低工程造价的需求迫切
- 建造质量要求高，现场施工管控难度大
- 核电“走出去”面临复杂的外部环境



模块化建造技术的特点和作用

- 提升本质安全的水平；
- 有利于提升建造质量；
- 优化和缩短现场建造工期；
- 减少现场劳动力资源投入；
- 适应国家工业化发展趋势；

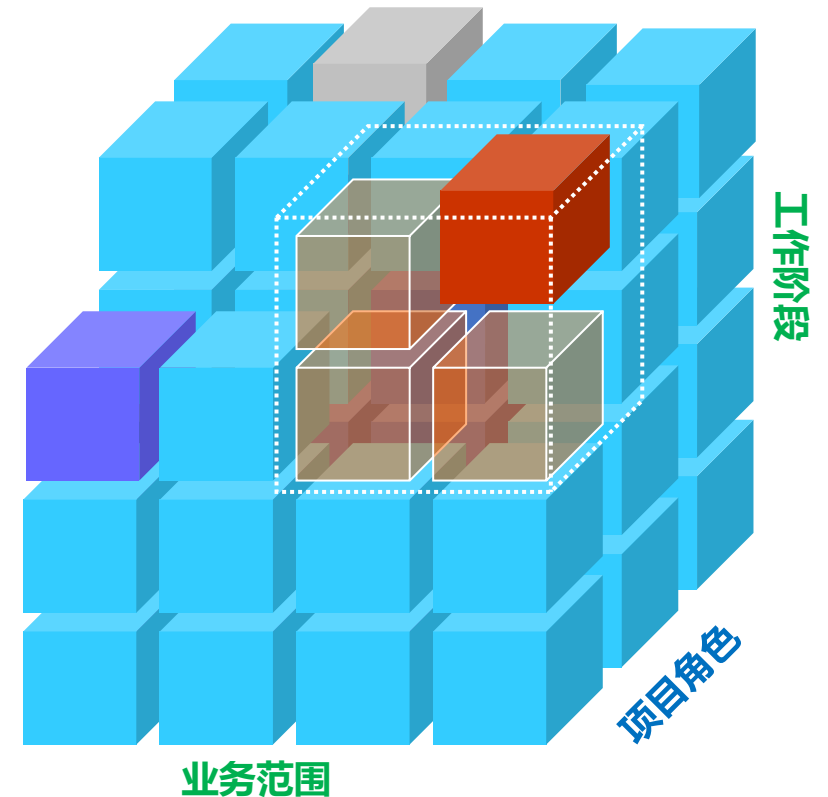


(二) 我国核电站模块化建造技术发展需要破解的难题

课题组从不同视角、不同出发点多维度分析模块化建造技术的发展历程、存在的问题、面临的困难，对模块建造技术在核电建设中的应用进行了系统研究：

- 业主方、总包方、设计方、制造方，建安方
- 研发、设计、采购、建安、调试运维
- 预制、拼装、运输、吊装、安装、调试、运维

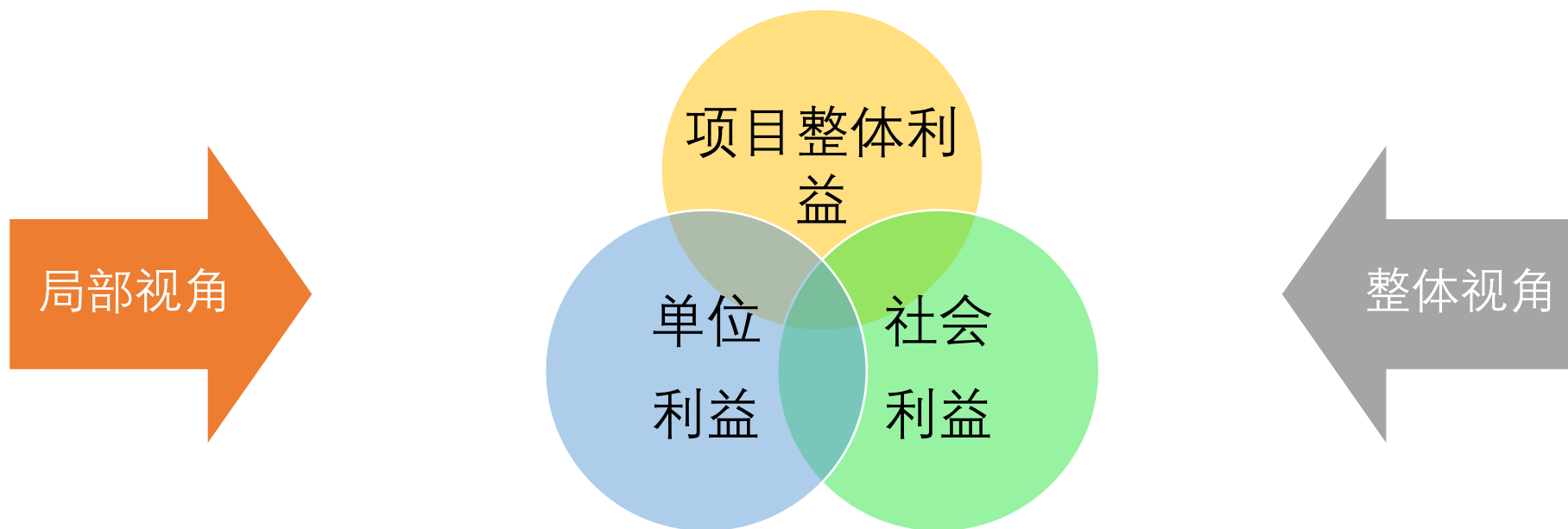
核电行业模块化建造技术在**体制机制、顶层设计、采购制造、施工组织与管理、经济性、技术装备先进性**等方面存在改进空间。



(二) 我国核电站模块化建造技术发展需要破解的难题



1. 模块化建造呼吁项目管理新机制新模式



模块化建造技术是一个系统工程，模块化的优势及其带来的机组安全性经济性提升体现在项目整体利益上，它促成建造能力的提升与项目管理的变革，核电建造模块化的推广应用涉及深层机制，呼吁从顶层关注、设计项目管理新模式，建立利益共享新机制。



(二) 我国核电站模块化建造技术发展需要破解的难题

2. 模块化在顶层设计方面的问题及挑战

系统性顶层设计欠缺

目前核电项目在模块化研究设计方面还不够全面、深入和细致，部分堆型在设计顶层方案中没有完全采用系统思维考虑模块化，缺乏系统性，影响了技术应用的效率。

模块化对设计进度和完成率要求更高

模块相关的设计工作需要提前，要较早完成系统和设备的设计和布置。设计与采购之间的相互提资时间大幅压缩。

标准规范支撑力度不够

核电模块化设计、建设缺少可依据的标准规范。模块化建造技术无统一的评价标准，标准规范的缺位也制约了模块化技术的全面、大规模采用。



(二) 我国核电站模块化建造技术发展需要破解的难题

◆ 3. 模块化在采购与工厂制造方面的问题及挑战

模块化对采购计划要求更高

模块内设备采购问题与挑战

模块化工厂制造完成度有待提高



(二) 我国核电站模块化建造技术发展需要破解的难题

4. 模块化在施工组织管理方面的问题及挑战

模块化减少现场施工作业，总体而言减轻了现场管理强度。但采取模块化施工后，一些新的施工组织和技术管理模式要求相应产生，需要在项目策划和施工组织安排时予以考虑。

总平规划

- 拼装场地
- 运输道路
- 吊装场地
- 力能供应

成品保护

- 暴露时间长
- 土建安装交叉作业
- 开顶法施工影响主设备成品保护

运输吊装

- 大件数量多、难度大
- 精度要求高，变形控制困难
- 吊机能力限制模块最大化



(二) 我国核电站模块化建造技术发展需要破解的难题

5. 模块化在经济性提升方面的问题及挑战

首堆（或首批）项目模块化固有的经济性优势未充分展现

模块化造价体系不完善



(三) 核电站模块化建造技术改进提升的策略

1. 项目管理模式和体制机制方面的改进与提升

建立核电站模块化建造组织管理与分工协作机制

业主方

- 统筹模块化建造技术应用决策
- 场地规划、成本预算和资金计划

项目总承包单位

- 模块化技术应用方案纳入项目建议方案
- 策划模块实施范围, 制定技术方案
- 建立跨单位、多专业协同合作的管理模式
- 建立项目层面的技术问题决策机制

模块化专业公司

- 制造技术优化升级
- 推广标准化
- 积极衔接上下游
- 重视计划管理
- 提高模块制造完成度

项目施工单位

- 施工技术“向上管理”
- 优化施工工艺
- 资源组织保障、接口管理
- 施工环节质量控制



(三) 核电站模块化建造技术改进提升的策略

2. 模块化设计方面的改进与提升

- 建造经验反馈
- 运维经验反馈
- 模块设计优化

制造经验
反馈与设计
优化

设计技术
管理体系

- 建立配套的模块化设计技术管理体系
- 深化和完善模块化设计内外部设计接口
- 设计、采购、建造、调试的互动

- 模块标准化设计
- 模块设计及早固化
- 标准化促进模块设计固化

设计标准
化与模块
提前设计

设计平台
和工具的
共享使用

- 统一的模块设计平台
- 三维模型的准确有效应用
- 综合考量设计优化和应用成本间的平衡
- 设计软件的开放与通用



(三) 核电站模块化建造技术改进提升的策略

3. 模块化采购方面的改进与提升

- 根据模块交付节点要求，合理排布模块中相关物项的采购和制造、组装计划。
- 重点关注模块配套供应商管理，缩短物项采购周期。

模块化采购规划与
计划管理

模块完整交付

- 经验反馈
- 统筹采买、提资、制造、发货、安装一体化计划
- 提前做好应急组织和技术准备

(三) 核电站模块化建造技术改进提升的策略

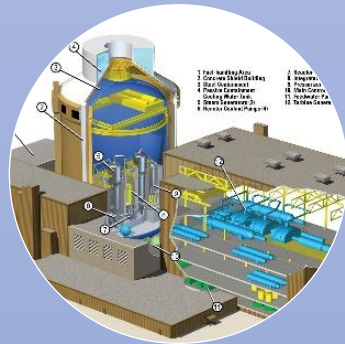


4. 施工组织管理方面的改进与提升



总平规划管理

- 运输路线与拼装场地布置
- 吊装场地设置
- 大件码头规划



施工逻辑研究

- 前期计划安排、高标准开工
- 模块供应与核岛厂房结构施工之间的逻辑
- 一体化计划



成品保护

- 腐蚀裕量设计
- 模块整体出厂\到场
- 专项成品保护措施
- 局部调整防腐涂层的施工逻辑



技术优化升级

- 良好实践、经验反馈的传承
- 跨行业、跨专业、跨单位的技术交流
- 专项技术攻关





(三) 核电站模块化建造技术改进提升的策略

5. 模块制造、安装方面的改进与提升

提高机械 自动化水 平

- 推广自动化生产设备，提高生产效率；
- 减少用工数量，降低人工成本

标准化批 量化

- 利于优化模块制造、组装和安装施工逻辑，优化施工工序
- 利于加大先进装备的投入和新工艺的研究与推广

大件运输 吊装技术 改进

- 吊具优化及高效配置
- 吊耳吊索具重复使用
- 吊装、安装3D仿真技术
- 模块运输吊装变形控制

吊机选型、 垂直运输 总体规划

- 根据技术路线和工期安排搭配吊机
- 吊机使用计划
- 资源共享、提高利用率



(三) 核电站模块化建造技术改进提升的策略

『 建 议 』

(1) 模块化建造技术是一个系统工程，它涉及深层机制，需要站在全局和长远来看待模块化建造带来的好处。

(2) 统一的标准规范对不同技术路线、不同堆型、多机组的模块批量化建造具有重要意义。

(3) 标准化、批量化、规模化是进一步提升模块化建造技术，在发挥经济性、成熟性和竞争力的重要方式，因此批量化应用迭代提高我国核电建设行业提升模块化建造技术水平的重要途径。



03 后续行动





课题后续行动

模块化建造技术为牵引，建立全行业全链条互动研讨机制



以模块化建造技术研究为契机，业主、设计院、制造厂、建安单位的众多专家以各种形式开展研讨交流，建立覆盖整个产业链条的互动研讨机制，形成良好协作生态，互通有无、合作共赢，拓展工作界面，发挥出产业链集成优势。



课题后续行动

协同构建完善的核电站模块化建造技术标准规范体系

5个专业领域
及子领域

序号	专业领域	子领域
1	核电站模块设计	模块设计的原则和基本要求
		模块分类与分段
	
2	模块加工制造	模块预制与拼装
		模块公差与变形控制
	
3	模块安装	大型模块的运输
		模块吊装
	
4	模块结构与混凝土	钢板混凝土结构
		自密实混凝土浇筑
	
5	模块维护保养	模块成品保护
		核电厂运维阶段模块维保
	

谢谢

THANK YOU

