

中国三代非能动核电技术介绍



国家核电技术公司

STATE NUCLEAR POWER TECHNOLOGY CORPORATION LTD.

介绍目录

- 1、中国核电发展概况
2. 三代非能动核电厂技术特征
3. CAP1000设计及推广情况
4. CAP1400研发及建设情况



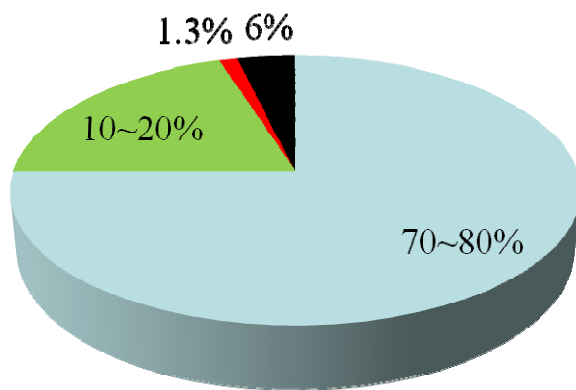
中国核电发展概况



1. 中国能源结构现状和环境压力

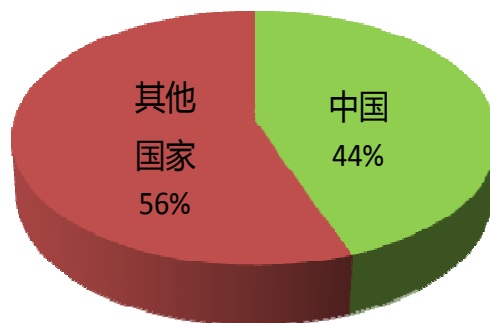
中国能源结构存在不合理性，导致环境污染加剧

能源比例



■ 火电 ■ 水电 ■ 核电 ■ 其他

在建核电机组

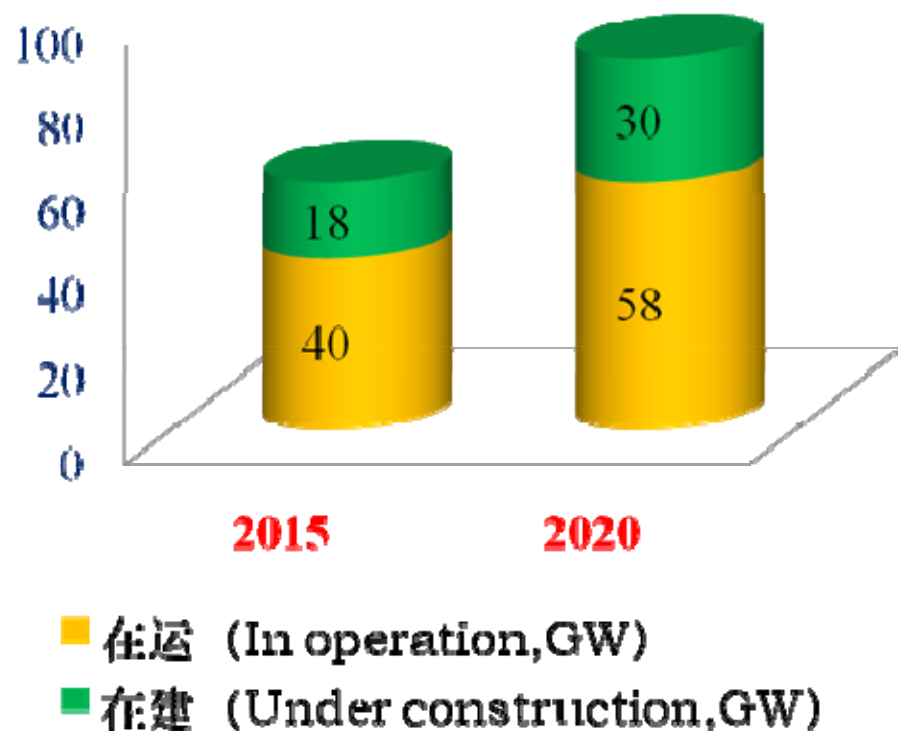


中国节能减排面临着巨大压力



2. 中国核电发展策略

2012年10月24日，中国政府发布了“中长期发展规划（2011-2020）”，确定未来核电建设采用3代 AP1000核电技术及再创新技术。



由于中国城市化进程的加快以及环境压力带来的能源结构调整等影响，核电将会有更多的市场空间。

- 城镇化策略
- 环境压力
- 三代和三代加技术的先进性,
- 庞大的投资能力
- 足够的设备制造能力
- 稳定的电力需求增长

2. 中国核电发展策略

中国政府和核安全当局发布了相应的核电安全要求，作为今后近10年的顶层安全要求

核电安全规划 (2011-2020)

“十二五”期间新建核电厂安全要求

福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求

- 安全高效发展核电
- 最严格的标准，最先进的技术
- 后续项目以AP1000技术路线为主
- 把公众的意愿作为核设施建设的先决条件

《社会稳定风险评估报告》

《节能评估报告》



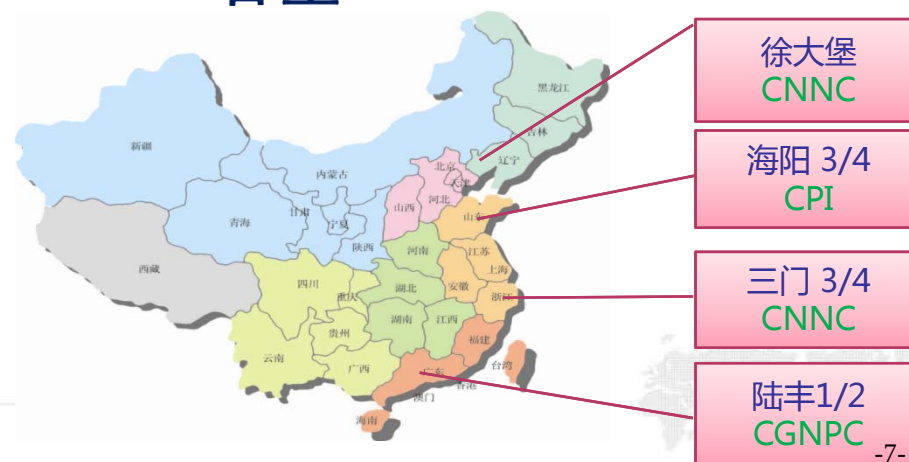
“江门事件”-江门铀工厂项目
损失约370亿人民币的投资

2. 中国核电发展策略

- ❑ 2014年3月，李克强总理在政府工作报告中，中国将在2014年启动一批核电站建设工作。
- ❑ 2014年4月，李克强总理召开新一届国家能源委员会首次会议。强调当前要开工一批重大项目，要在采用国际最高安全标准、确保安全的前提下，适时在东部沿海地区启动新的核电重点项目。



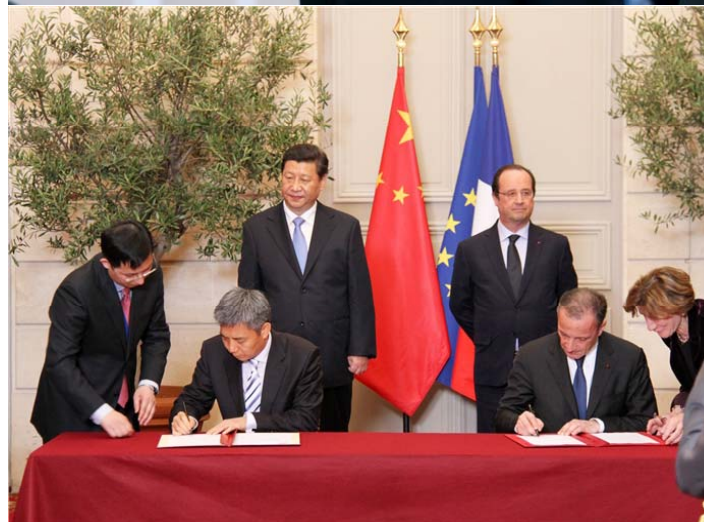
- ❑ 国家能源局计划2014年目标增加864万千瓦的装机容量。



2. 中国核电发展策略

核电“走出去”已上升为国家战略

- ❑ 2013年年底，国家能源局公布《服务核电企业科学发展协调工作机制实施方案》，首次提出核电“走出去”战略。
- ❑ 国家领导人习近平主席在访欧期间、李克强总理2013年底的国事访问中，多次推荐中国核电技术
- ❑ 核电“走出去”对自主知识产权和设备国产化能力提出了更高的要求，带动国内技术进步和产业升级。



3. 中国核电发展现状

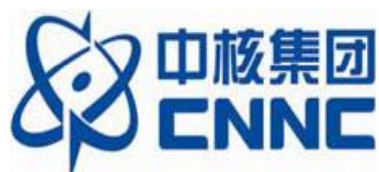
中国核电进入三代核电技术时期（2007-）：统一技术路线，发展三代核电技术

国务院于2007年决定引进西屋公司AP1000三代核电技术，并决定将具有自主知识产权的CAP1400技术研发列为国家重大专项。



3. 中国核电发展现状

中国主要核电集团



M310,
CNP600、1000,
CPR、VVER

NSSS供应商+业主



ACP100、ACP1000



M310、CPR、
EPR

NSSS供应商+业主



 Hualong1

ACPR1000



国家核电
SNPTC

CNP300、1000, NSSS供应商+业主
CPWR1000,
AP1000



CAP150、CAP1000、
CAP1400、CAP1700



业主



CPR1000、AP1000

3. 中国核电发展现状

中国大陆核电厂分布



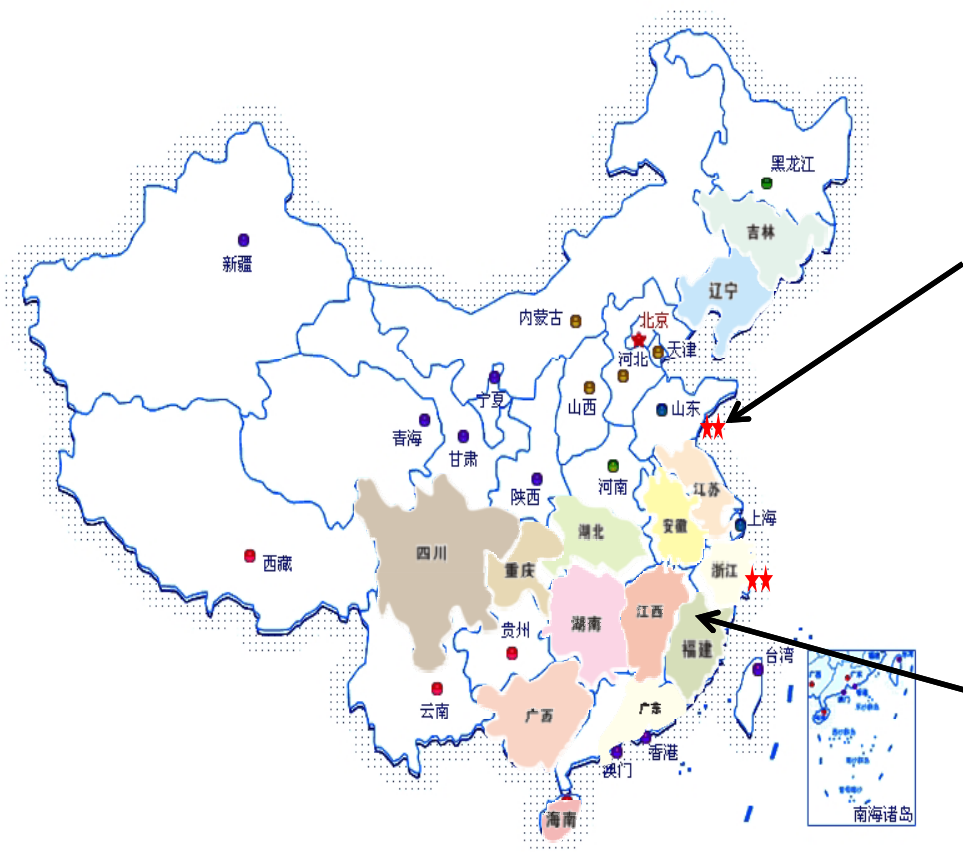
3. 中国核电发展现状

非能动3代机组 18 台	●三门3-4# ●海阳3-4# ●徐大堡1-2# ●陆丰1-2# ●石岛湾示范工程1-2# ●桃花江1-2# ●彭泽1-2# ●咸宁1-2# ●漳州1-2#	CAP1000 CAP1400
能动机组 4 台	●Hongyanhe5-6# ●Fuqing5-6#	ACPR1000 HUALONG1
引进 3代机组 2 台	●Tianwan5-6#	AES-2006

正在申请建造许可证的机组

4. 中国AP1000依托项目建设情况

AP1000依托项目厂址



4. 中国AP1000依托项目建设情况

截止2013年底，依托项目工程共完成了124个里程碑节点中的65个。



4. 中国AP1000依托项目建设情况

三门一期



4. 中国AP1000依托项目建设情况

海阳一期



4. AP1000机组建设情况

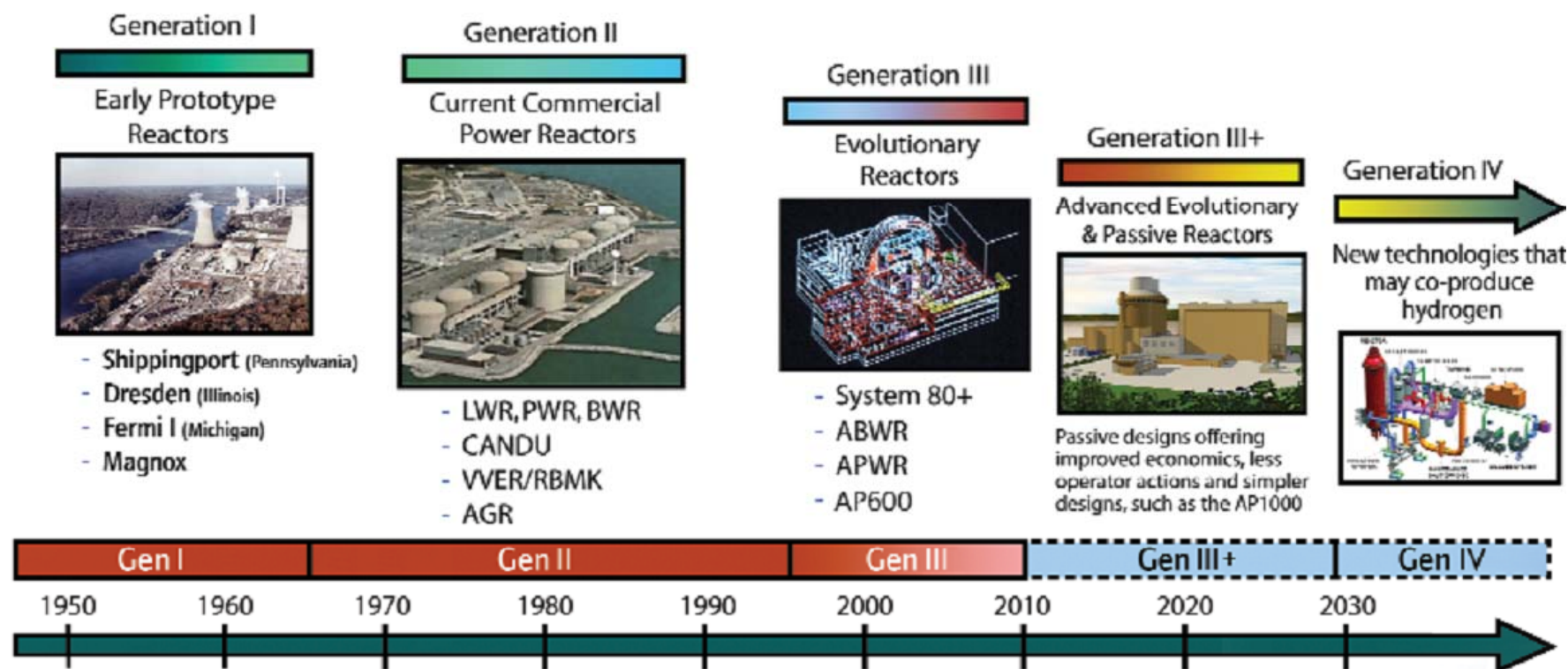
非能动3代机组 18 台	●三门3-4# ●海阳3-4# ●徐大堡1-2# ●陆丰1-2# ●石岛湾示范工程1-2# ●桃花江1-2# ●彭泽1-2# ●咸宁1-2# ●漳州1-2#	CAP1000 CAP1400
能动机组 4 台	●Hongyanhe5-6# ●Fuqing5-6#	ACPR1000 HUALONG1
引进 3代机组 2 台	●Tianwan5-6#	AES-2006

正在申请建造许可证的机组

三代非能动核电厂技术特征



1. 三代核电技术的提出



三代核电技术背景

- 需求受挫：1979年第二次石油危机和80年代中期开始的化石燃料生产过剩
- 安全问题：1979年美国三哩岛事故和1984年4月苏联切尔诺贝利事故
- 三代标准：1990年，EPRI发布URD（14项技术政策）
- AP1000：2003年，EPRI接受AP1000的三代地位，非能动技术属于URD倡导的三代技术发展方向；

2. AP1000核电厂主要技术特征

非能动安全设计和较大安全裕度

设计简化

模块化设计和建造

运行灵活性和厂址适应性

辐射防护最优化和放射性废物最小化

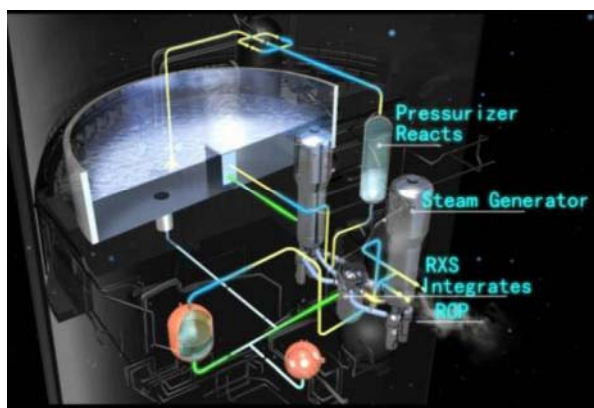
具有竞争力的经济性

2. AP1000核电厂主要技术特征

非能动安全设计

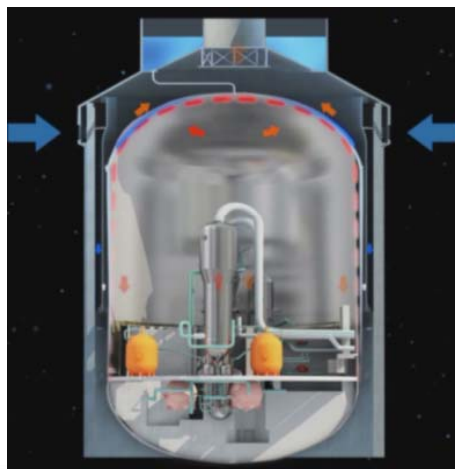
	AP1000	URD
CDF	5.08E-7	<1.0E-5
LRF	5.94E-8	<1.0E-6

- ❑ CAP1400采用非能动安全设计理念以提高机组的安全性能。
- ❑ CAP1400安全系统不依赖能动部件，而仅依靠自然力（包括重力、压缩空气和自然循环等）来完成反应堆和安全壳内的热量，可靠性高。
- ❑ 在事故72小时内，自动实现堆芯和安全壳冷却，无需操作员干预，大大减低人为失误导致的风险。



非能动堆芯冷却系统

©SNPTC 2013. All rights reserved.



非能动安全壳冷却系统



熔融物堆内滞留措施

国家核电
SNPTC

2. AP1000核电厂主要技术特征

非能动安全设计

2. AP1000核电厂主要技术特征

非能动安全设计



2. AP1000核电厂主要技术特征

提升的安全裕量

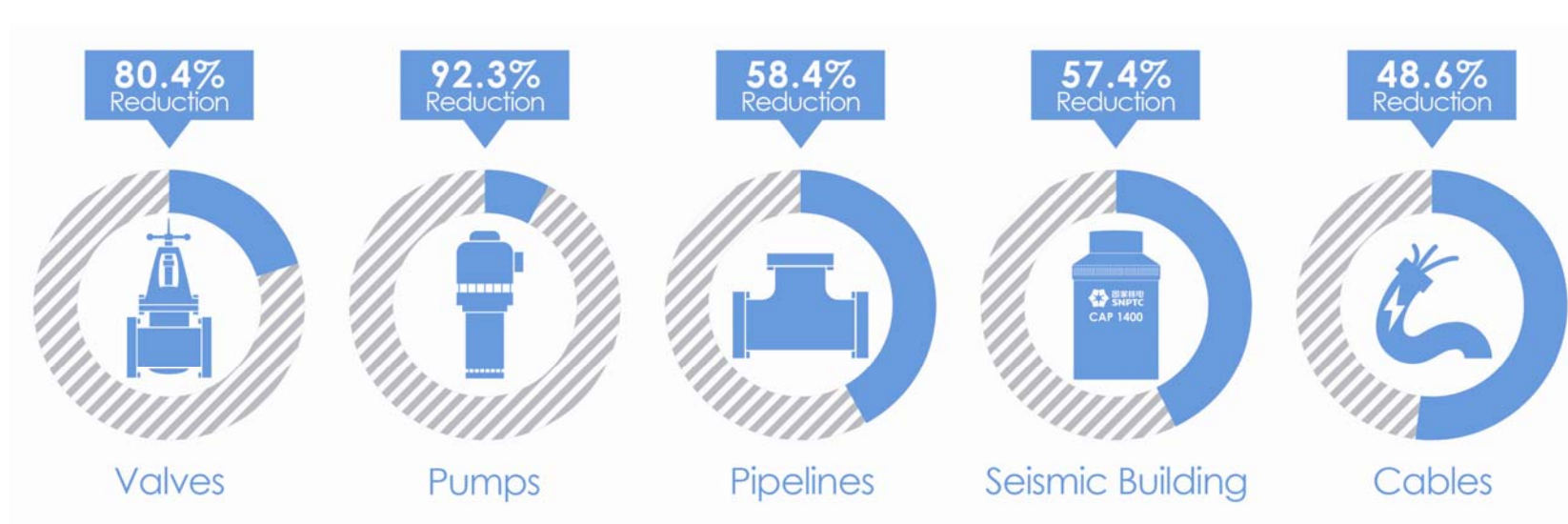
非能动安全设计

设计基准事故	传统电厂	AP1000
DNBR裕量	约10%	约16%
给水管断，过冷度裕量	>0 °C	约80 °C
SGTR，操作员动作时间	10 min	无需动作
SLOCA	3inch堆芯裸露	8inch堆芯不裸露
LLOCA，PCT	1700-2000°F	<1600°F
ATWS 峰值压力 (%换料循环)	21.7MPa(g)(90%)	19.0MPa(g)(100%)

2. AP1000核电厂主要技术特征

设计简化

- ❑ **采用非能动安全理念。**简化了安全系统配置、减少了安全支持系统，相应的泵、阀、电缆设备等大量减少。
- ❑ **电厂总体布置简化。**五大厂房设置，厂房数量减少，占地面积较小。



2. AP1000核电厂主要技术特征

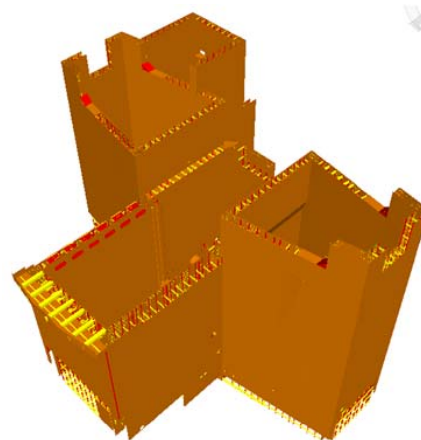
模块化设计和建造

□ 模块化设计和制造的优势

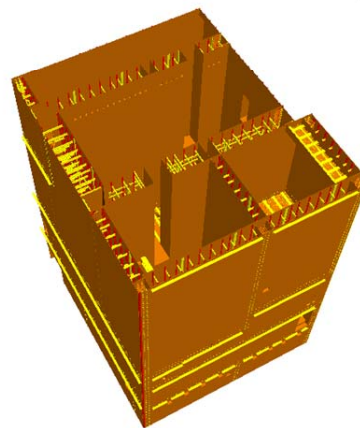
- ◆ 平行建设（打破原来传统的施工顺序），缩短建造周期
- ◆ 提高工厂化预制和组装程度
- ◆ 提高制造和安装质量-运输前完成模块预试验和检查
- ◆ 减少现场施工拥挤

□ 模块分割及要求

- ◆ 结构模块（较大，较重，需要船运）
- ◆ 设备模块（可铁路运输， $24 \times 3.6 \times 3.6\text{m}$ ，最大重量80吨）



CA01-结构模块



CA20-结构模块



Q601-设备模块

2. AP1000核电厂主要技术特征

模块化设计和建造

核岛厂房	结构模块	设备模块	总数
安全壳厂房	41	32	73
辅助厂房	42	63	105
附属厂房	10		10
总数	93	95	188



CA01模块吊装 (三门2号机组)



CA03模块吊装 (三门1号机组)

2. AP1000核电厂主要技术特征

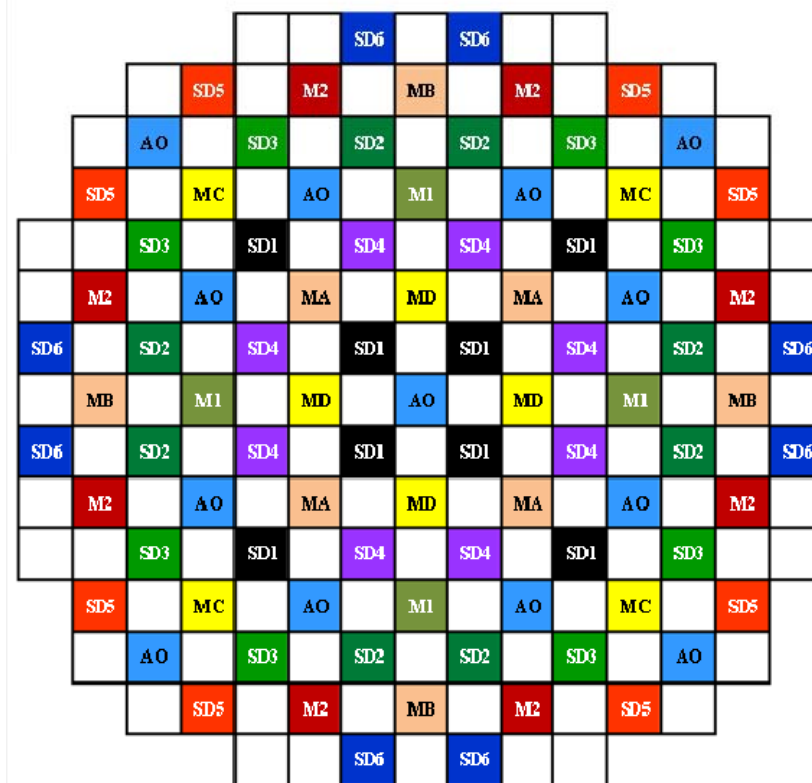
运行灵活性和厂址适应性

□ 运行灵活性

- ◆ 18至24个月换料周期，提供运行灵活性；MOX燃料装载能力
- ◆ MSHIM模式不调硼负荷跟踪模式
- ◆ 设计简化，大大减少维修、定期检修的要求和工作量
- ◆ 主控室人机界面优化，减少操作人员数量

□ 厂址适应性

- ◆ 开展标准设计，覆盖大部分潜在厂址条件
- ◆ 安全停堆地震采用0.3g，审查级地震采用0.5g，覆盖高地震区域



机械补偿（MSHIM）模式

2. AP1000核电厂主要技术特征

辐射防护最优化和放射性废物最小化

辐射防护最优化

- 工业界对职业辐射照射的控制趋严（10CFR、SRP、GB18871）。
 - ◆ 设计阶段考虑的布置、屏蔽、设备设计与制造和材料选择等将限制工作人员进出，减少潜在照射剂量和污染
 - ◆ 系统简化，设备减少，维修量减少
 - ◆ 选择低腐蚀率的材料，减少一回路钴输入，降低区域的放射性水平
- 职业辐照个人剂量限值小于20mSv/年（GB18871），并且管理目标位15mSv/年。
- 职业辐照集体剂量目标值小于0.67人Sv/年（URD要求1.0）
- 采用最佳实践，满足ALARA原则（减少工作时间、增加距离、屏蔽措施有效性、减少辐射源项）。

2. AP1000核电厂主要技术特征

辐射防护最优化和放射性废物最小化

设计改进	以前的设计/方法	改进受益
SG 传热管利用低钴含量 (0.015%) 或低腐蚀率的材料	使用含钴 0.10% 的 Inconel 600 材料	减少 Co-59 释放到主系统的量和降低核电厂辐射水平
避免或尽量减少使用高钴硬面合金材料	对材料没有特殊限制	减少 Co-59 释放到主系统的量和降低核电厂辐射水平
18 个月循环换料周期	12 个月循环换料周期	减少换料次数并减少整个核电厂寿期内的 ORE
N-16 输运时间流量计或快速响应热电偶	电阻温度探测器旁通集管和相关的管道和阀门	消除这些部件(腐渣阱)的维修，也降低回路一般区域的辐射水平
SG 机器人检查和维修	人员操作	消除人员操作
一个 RCP 壳	二个 RCP 壳	消除泵壳焊缝十年 X 射线检查
堆顶一体化设计和与换料有关的其它设计改进	非一体化/老式的部件	减少换料操作时间和剂量率

2. AP1000核电厂主要技术特征

辐射防护最优化和放射性废物最小化



□ 源头控制

- ◆ 采用先进堆芯控制方式（MSHIM），有效减少传统电厂中产生的大量含硼废液。
- ◆ 确保燃料棒包壳“零”破损，通过设计改进（采用防异物下管座等，CILC）和质保控制。
- ◆ 改进材料（降钴），降低腐蚀产物。
- ◆ 采用先进设计，如设备设计（长使用寿命减少更换等）、非能动设计（简化电厂系统和设备等）、共用子项（减少二次废物量）等等。

2. AP1000核电厂主要技术特征

辐射防护最优化和放射性废物最小化

□ 再循环再利用（设备和劳务工具重复使用）

- ◆ 换料设备操作工具可反复使用，原则上不进行更换。
- ◆ 热车间清洗后设备在满足会用要求后需重新投入使用。
- ◆ SRTF设置全厂共用的运输容器。

□ 减容技术

- ◆ 废气处理采用活性炭处理技术，充分体现非能动理念，较传统的压缩处理处理技术，具有二次废物小、占地面积小、安全可靠的特点。
- ◆ 废液处理充分贯彻“分类收集、分类处理”的设计原则，工艺废液采用离子交换工艺，具有高效的处理能力，降低二次废物产生量。
- ◆ 废固处理采用成熟的减容工艺，采用干燥、压实等减容技术，尽量减少最终废物包装量。处理工艺相对集中，且相较于现役电厂采用的水泥固化工艺，其减容能力更强。

2. AP1000核电厂主要技术特征

具有竞争力的经济性

- ❑ **设计简化：**管道、阀门、电缆等数量大大减少；抗震一类厂房容积大大减少（非能动理念导致安全级的能动系统大大减少）；电厂总体布置简化，总体占地面积减小。
- ❑ **模块化设计和建造：**并行建设，进一步缩短建设周期。
- ❑ **高电厂可靠性：**机组设计寿命60年；机组目标可利用率大于93%。
- ❑ **高机组出力：**机组出力大于100万千瓦，大容量机组带来更高的经济性（尤其是运营经济性）。

CAP1000设计及推广情况



1. 项目背景和意义

CAP1000标准设计是国家的要求，是核电发展的趋势

- 国务院国阅[2007]6号文提出了“探索核电建设新模式、最终走出一条标准化设计、模块化建造、工厂化预制、专业化管理、自主化建造的新路子”要求。
- 国务院209次常务会议上明确由国家核电牵头开展“压水堆重大专项”相关工作。CAP1000是重大专项的重要组成部分，也是我国核电“三步走”战略承上启下的关键环节。
- 国家发改委《内陆地区核电发展工作会议纪要》（发改办能源[2008]336号）的指示，内陆核电厂将采用第三代(AP1000)核电技术建设。

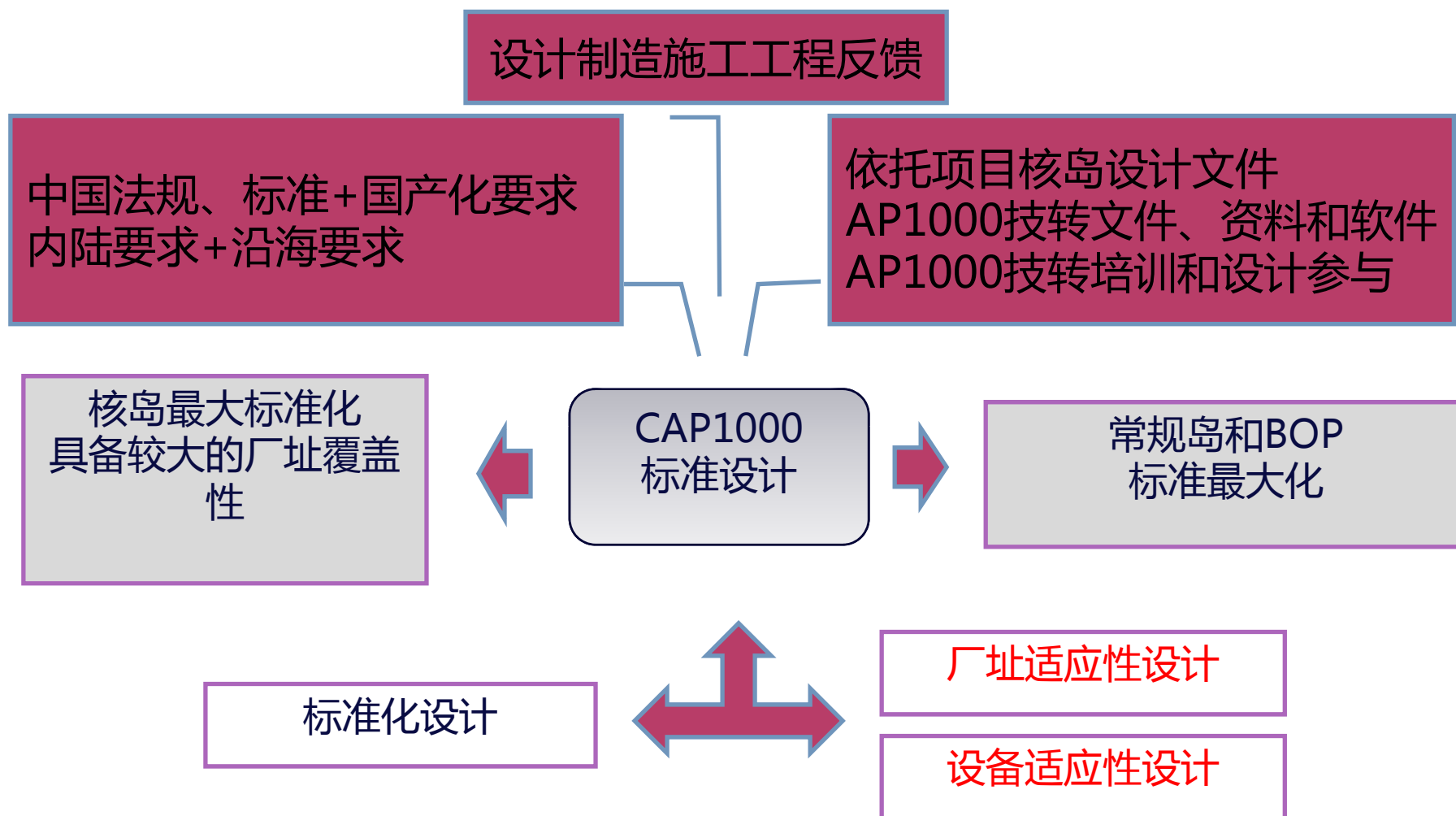
据此，国家核电启动了标准设计工作

1. 项目背景和意义

标准设计意义-URD技术政策

- 标准化是工业社会进行规模化、批量化生产的重要手段。
- 核电标准化设计，对设计与安全审评的固化、项目管理的规范化、设备供货的国产化与有序安排、工程进度可控性与项目风险的最小化等均有显著的作用。
- 从行业角度，搭建了互惠共享的平台，有利于推动技术持续创新，提高我国核电整体设计水平。
- 如法国和韩国在引进技术后，都把标准化、系列化、自主化作为核电发展的基本方针，并取得了显著成效。

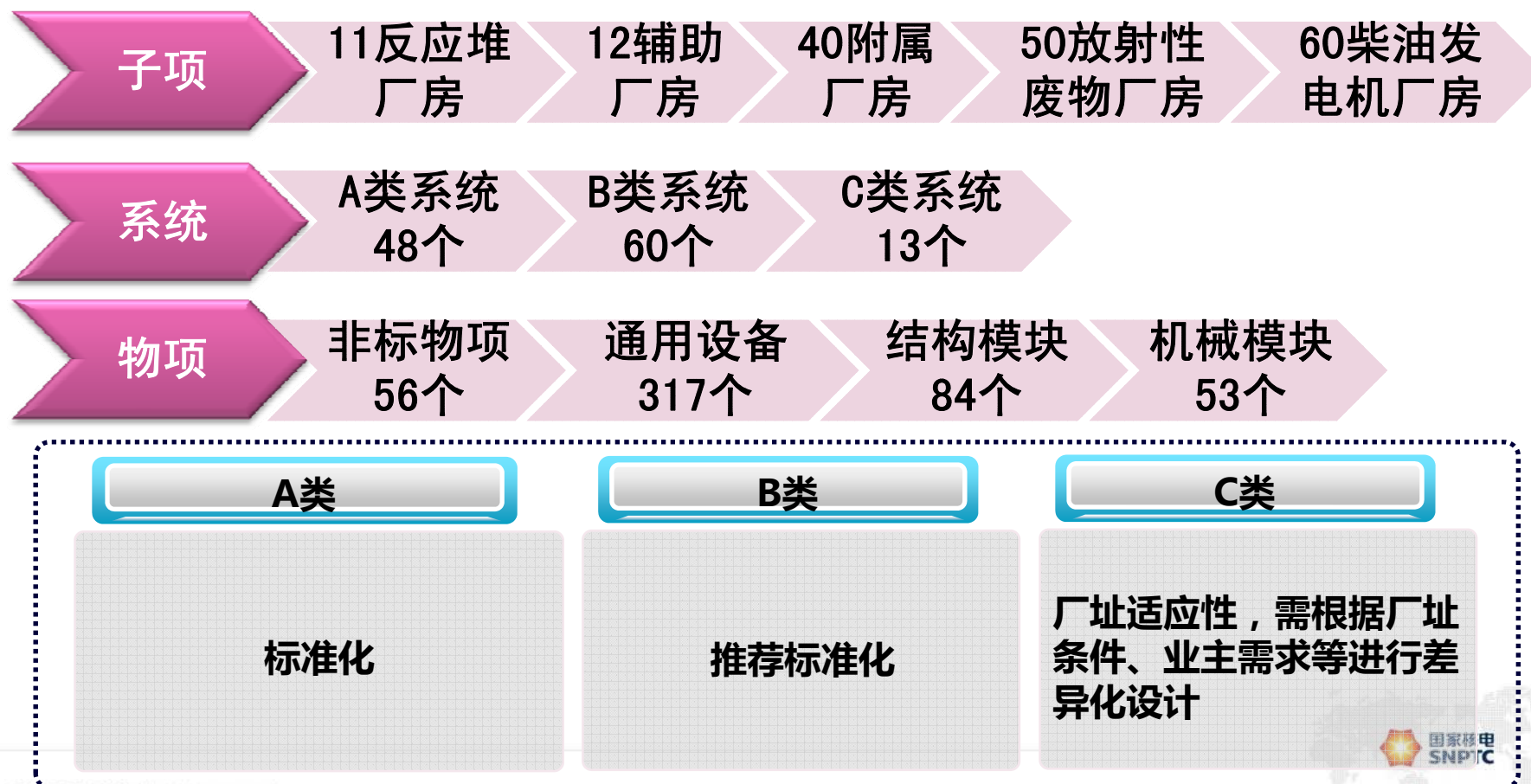
2. CAP1000标准设计思想和范围



2. CAP1000标准设计思想和范围

标准设计范围包括核岛、常规岛和部分BOP

- 五大厂房A、B类子项和系统完整开展施工设计，为后续项目提供支撑。



3. CAP1000标准设计进度和推广情况

CAP1000标准设计已经完成（5年）

2014年 持续进行设计完善。

2013年 2013年10~12月，完成国家核电组织的施工设计EDV审查并提交了整改落实报告。
2013年6月，基本完成核岛五大厂房施工设计工作。
2013年4月，向NNSA提交了“1+3沿海”PSAR。目前，已完成评审对话工作。

2012年 2012年6月，结合福岛事件后进一步提高CAP1000标准设计安全裕度的考虑，完成了B版初步设计优化工作，并于8月完成了审查。

2011年 2011年5月，根据依托项目最新建设经验的反馈和后续项目提交的意见，完成了初步设计集中升版工作。

2010年 2010年4月，全面启动CAP1000标准设计的施工设计工作。

2009年 2009年底，完成CAP1000标准设计A版初步设计，并完成初步安全分析报告（2011年2月，向NNSA提交“1+3内陆”PSAR）。

2008年 2008年中，完成CAP1000标准设计的方案设计，并启动初步设计工作。
2008年初，启动CAP1000标准设计的方案论证工作。

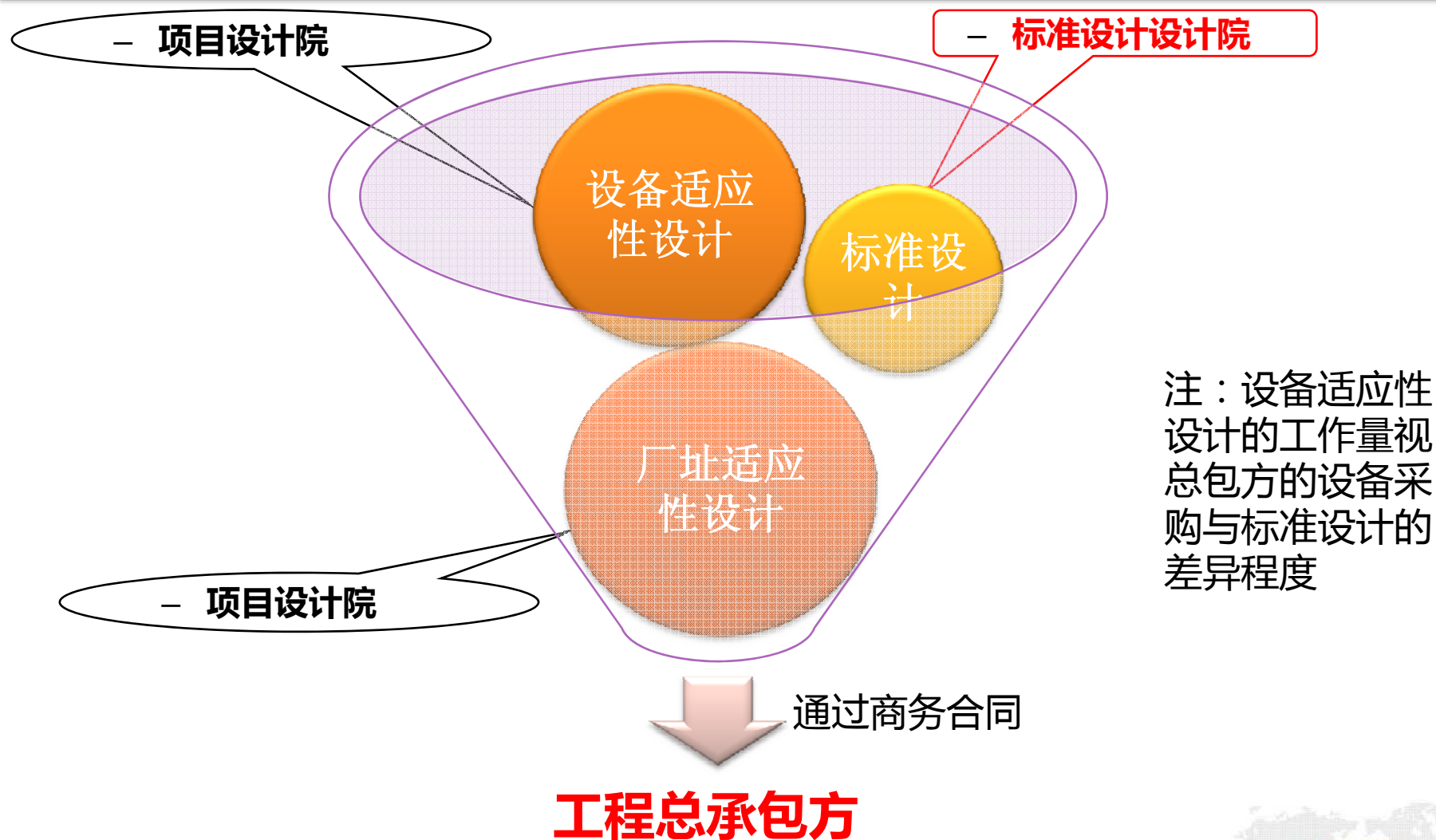
3. CAP1000标准设计进度和推广情况

标准设计推广是国家统一技术路线的模式

- 国家能源局致力探索并推广标准设计模式。
 - ◆ 即将出台《核电厂核岛工程标准设计及技术创新管理暂行办法》，要求新建核电项目原则上应采用标准设计，真正统一我国核电技术路线。
 - ◆ 预计5月初开展标准设计评审，将国家核电版标准设计升级为第一版“国家版”标准设计，并用于后续首批项目。
 - ◆ 即将成立核电厂标准设计和技术创新委员会，负责持续管理、维护和完善标准设计，推动设计改进和技术创新。
 - ◆ 以建设一批、改进一版为方针，不断完善CAP1000标准设计，进一步提升核电的安全性、可靠性和经济性。

3. CAP1000标准设计进度和推广情况

标准设计推广模式示意图

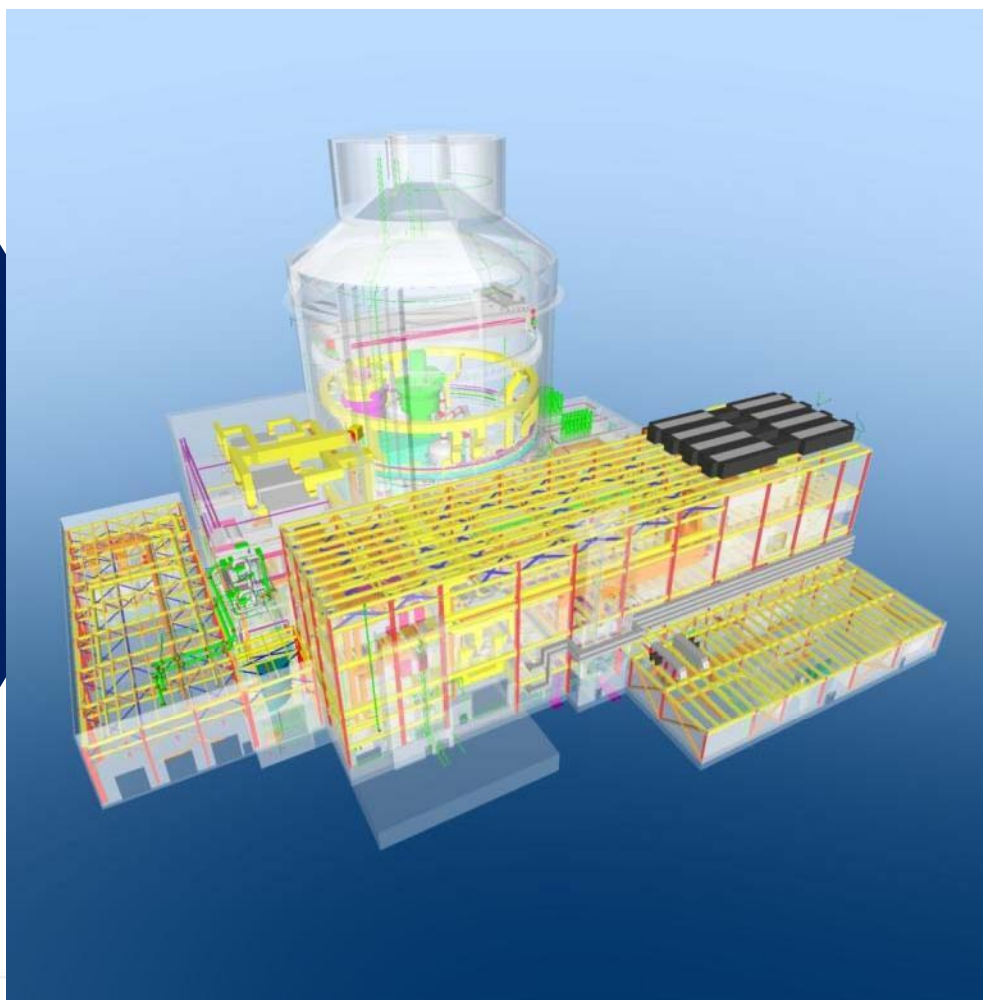


3. CAP1000标准设计进度和推广情况

CAP1000标准设计目标市场



CAP1000标准设计目标市场



4. CAP1000标准设计创新成果

优化改进基于依托项目工程经验反馈、后续项目设计审评问题反馈、相应的AP1000技术转让消化吸收成果，以及日本福岛核事件的经验教训

设计优化—基于AP1000的5大设计优化

AP1000经验反馈

- 吸收AP1000设计/制造/建造/审评等经验反馈
- 参考世界核电发展的相关新要求

公英制转换

- 全范围的公英制转换（根据制造精度、采购情况等全面分析）

设备国产化 and 大宗材料替代

- 关键设备实现国产化、大宗材料实现替代

相对依托项目设计差异及优化

- 对原有AP1000技术的查漏补缺，调整及优化
- 国情适应性修改（包括中国标准符合性）

福岛事故响应

- 防水封堵/长期水源/长期电源/乏池冷却/全范围SAMG等

4. CAP1000标准设计创新成果

大宗材料替代：完成电缆桥架、管道支吊架等材料替代

设备国产化：关键设备实现国产化，国产化率有望超过80%

未具备国

序号	设备分类	数量	A类：可以实现国产化	B类：科研攻关	C类：未具备国产化条件
1	SC-1级设备	20	11	8	1
2	SC-2级设备	20	12	8	0
3	SC-3级设备	45	34	6	5
4	NNS级设备	176	147	18	11
5	1E级设备	31	2	14	15
6	N1E级设备	91	46	24	21
7	总计	383	252	78	53

备注：可以实现国产化(65.8%) + 通过科研协作(20.4%) = 86.2%

4. CAP1000标准设计创新成果

CAP1000标准设计主要设计差异及优化

❑ 针对依托项目工程问题的优化和调整

举例		
序号	问题	应对措施
1	主泵接管载荷问题	更改主泵规范书接管载荷，经评定满足规范要求
2	SG垂直支撑	将加强板与埋板间焊缝由角焊缝改为熔透焊
3	稳压器环梁设计	自主计算稳压器中心处载荷；改进分析方法；
4	RNS热交换器设计	扩大RNS热交换器底盘，便于安装施工；核实RNS设置上部支撑无法实现33Hz要求，但有利于调整设备固有频率，提高抗震效果
5	稳压器喷雾管支撑设计	已优化支撑设计，采用标准支架和非标支架结合的方式
6	底板预埋件设计	已大幅减少底板预埋锚栓改为预埋板，原901个锚栓经核实仅保留64个，便于现场施工
7	柴油机容量问题	根据设计复核，扩充了柴油机容量

4. CAP1000标准设计创新成果

CAP1000标准设计主要设计差异及优化

□ 进一步设计优化和调整（超过几十项重要改进）

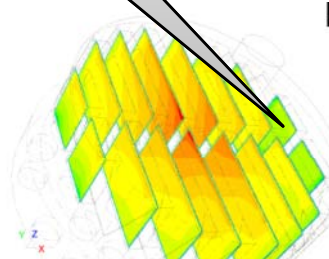
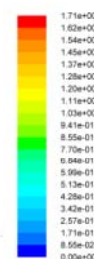
自主化蒸汽发生器

- AP1000蒸汽发生器的干燥器是PEERLESS公司专利，不在技转范围内。
- CAP1000完成了干燥器的国产化，性能优于国外干燥器

性能试验



数值模拟



Contours of Velocity Magnitude (m/s)

Sep 02, 2013
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, plots, .sh)

干燥器



4. CAP1000标准设计创新成果

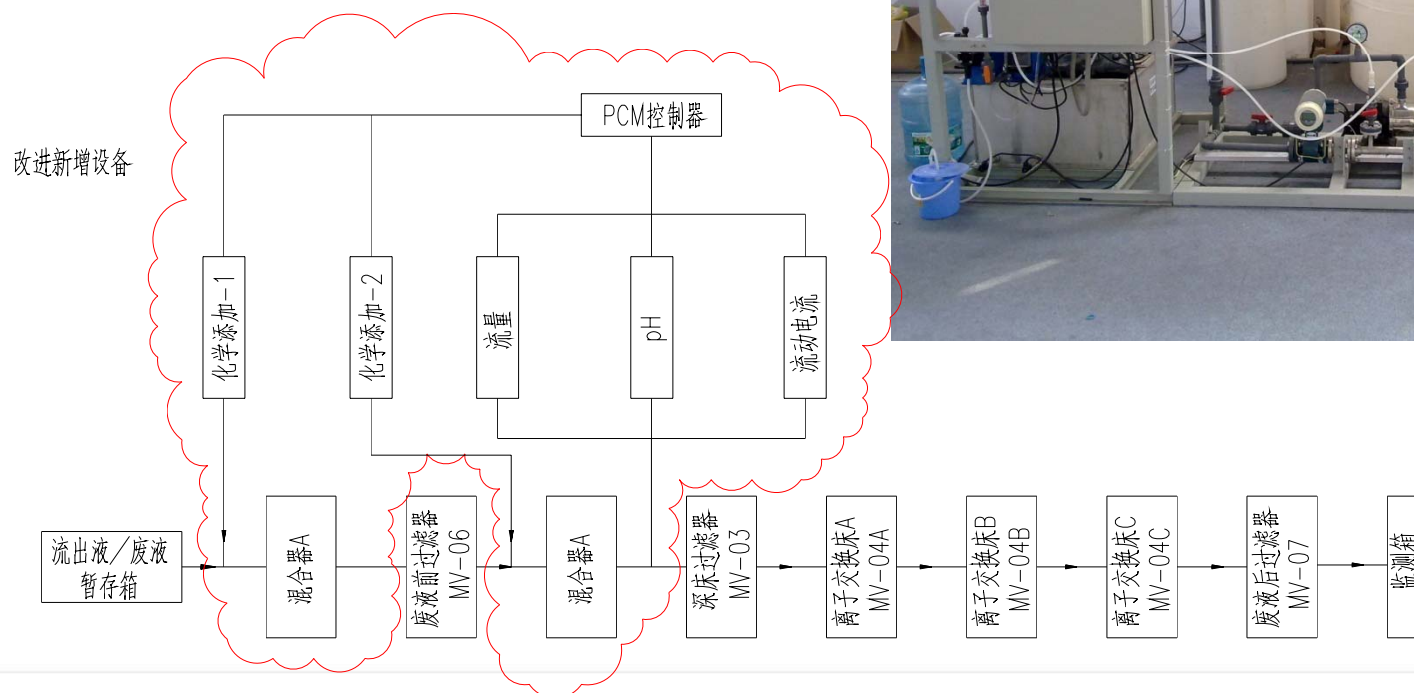
CAP1000标准设计主要设计差异及优化

❑ 废液系统工艺改进

增设化学絮凝处理工艺：

◆ 电中和、网捕桥架作用，强化下游活性炭对腐蚀产物胶体/颗粒的去污因子

◆ 满足GB6249-2011的排放限值要求

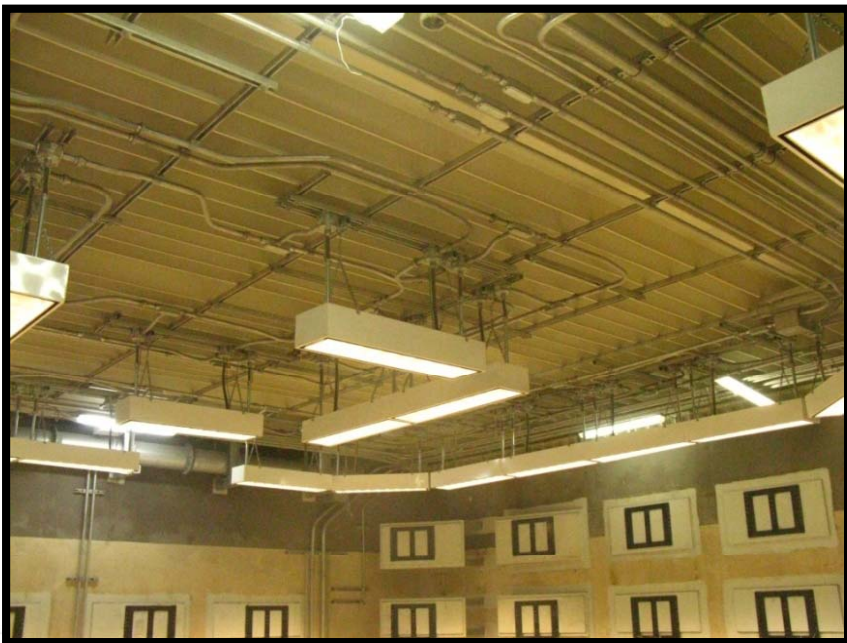


4. CAP1000标准设计创新成果

CAP1000标准设计主要设计差异及优化

□ 主控制室布置和环境设计优化

- ◆ 照明布置方案优化，整体美观主控制室。
- ◆ 主控制室内建筑布局改进，更能符合国内电厂在安全撤离、人因工程等方面的实际需求。
- ◆ 主控制区内设备布置改进，综合考虑各设备布置、建筑结构影响。



©SNPTC 2013. All rights reserved. 原AP1000主控制室顶部



优化后的主控制室顶部效果图

4. CAP1000标准设计创新成果

CAP1000标准设计主要设计差异及优化

□ 福岛事故评估和经验反馈

- ◆ 在国家核安全局要求下，针对CAP1000核电厂在类似福岛事故条件下的事故缓解能力进行了评估，评估结果表明：即便在类似的福岛事故条件下，由于CAP1000的非能动设计特点，以及基于非能动余热排出系统和非能动安全壳冷却系统的失效安全设计、操纵员有限的操作和适当的厂外支持，电厂仍具有较强的事故抵御能力：

堆芯或乏燃料池不会发生燃料破损

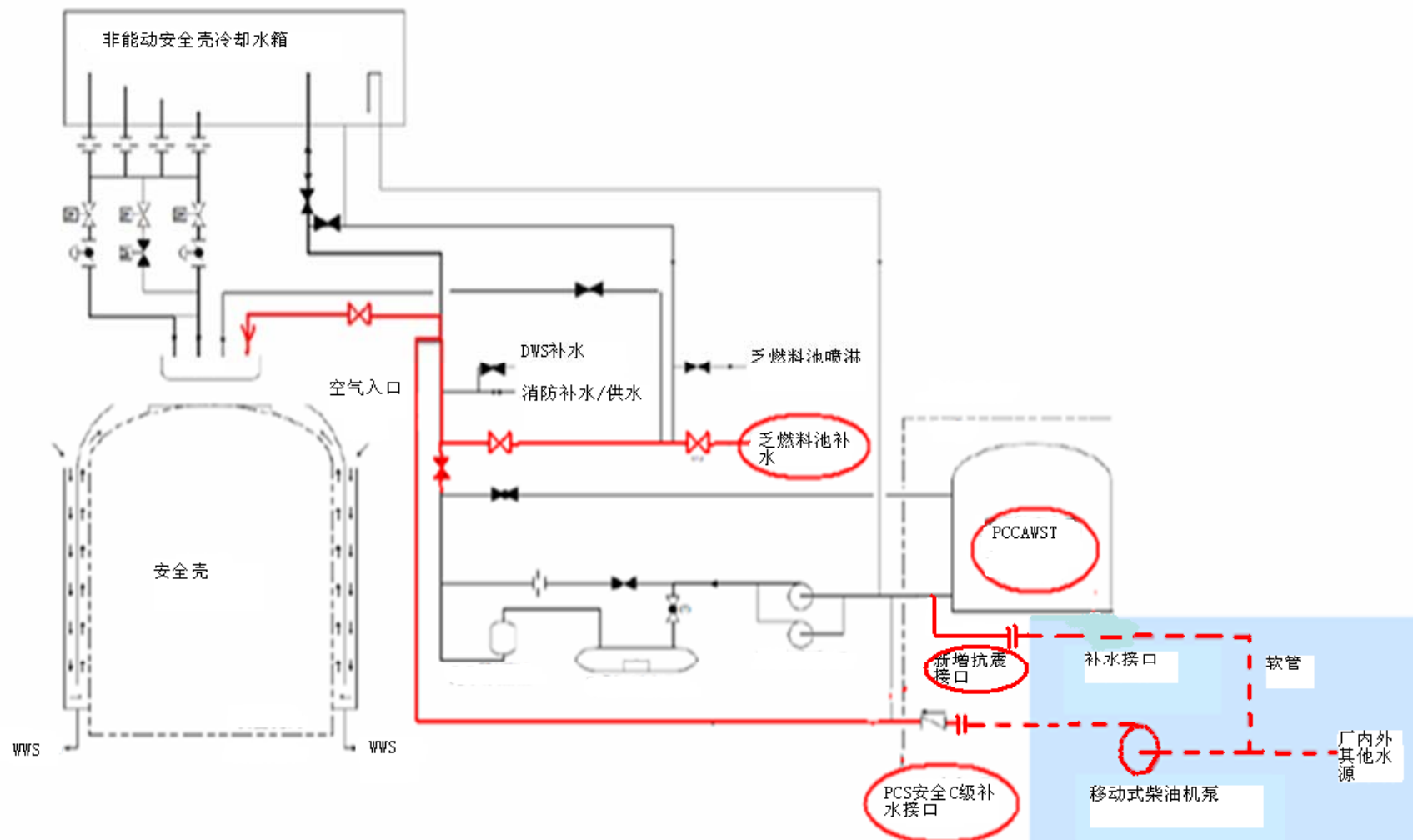
安全壳可维持其完整性

无不可接受的放射性泄漏

72小时内无需厂外支援

4. CAP1000标准设计创新成果

福岛事故后裕度增强措施



新增移动泵，明确水源，确定接口位置

CAP1400研发及建设情况



1. CAP1400研发背景

- **国务院批准**“大型先进压水堆、高温气冷堆”专项，是国家科技发展规划16个重大科技专项的第6项
- **国家能源局**作为核电专项实施的政府牵头组织部门、**科技部**作为监督部门
- **国家核电技术公司**作为压水堆专项的牵头实施单位和示范工程的实施主体，**上海核工院**作为技术总体责任单位
- 上百家国内外核电单位参与了研发工作



1. CAP1400研发背景

CAP1400得到国际大型核电企业的支持



Westinghouse(US) provides design consultation;



L&M (US) participates in PMS development;



OSUs (US) participates in test verification;



EMD(US) and KSB (Germany) participate in the development of Reactor Coolant Pump;



GRS (Germany) participates in engineering verification;



Laboratories of OECD provide large amounts of test data;



Corporate from US, Canada and Japan participate in equipment material research and test verification;

2. CAP1400型号设计状态

CAP1400研发基础

- 国内40多年自主研发设计、20多年核电建设运行；
- 完整技术引进消化吸收；
- 全面参与依托项目与工程经验反馈；
- 完整的分析与试验研究、政府支持。

继承URD和AP1000三代先进理念

非能动特性
设计简化
模块化设计和建造

采用成熟技术和设备
标准化
高安全裕度
环境友好性

2. CAP1400型号设计状态

CAP1400核电型号获得国家认可

设计阶段	设计完成时间	通过能源局 审查时间	审查结论
概念设计	2008年2月- 2010年6月	2010年底	概念设计内容全面，技术方案基本合理可行，可以开展初步设计工作
初步设计	2010年7月- 2011年12月	2014年1月	内容完整、技术方案先进、总体上是可行的，一致同意CAP1400初步（型号）设计通过审查



2014年1月9日，CAP1400初步设计通过国家能源局审查（历时一年多）

3. CAP1400总体技术方案

什么是CAP1400?

- 基于AP1000三代技术自主开发的两环路、大型、先进、非能动压水堆型号
 - ◆ 电厂出力 ~1500MWe
 - ◆ 更好的安全性、经济性和环境友好性
 - ◆ 标准设计，覆盖大部分潜在厂址条件
 - ◆ 采用国际通用的规范和标准，并满足国内标准



3. CAP1400总体技术方案

顶层设计原则

顶层设计原则

安全性
好于AP1000

经济性
好于AP1000

满足现行法律
法规，参考国
际先进标准

采用非能动理
念和严重事故
应对措施

依托项目经验
反馈与福岛事
故应对措施

安全性能指标

- 操纵员可不干预时间为72小时
- 堆芯热工裕量 $\geq 15\%$
- **SSE为0.3g、复核0.5g**
- 堆芯损伤频率 $< 10^{-6}$ /堆年
- 大量放射性物质释放频率 $< 10^{-7}$ /堆年
- 职业集体辐照剂量 < 1.0 人·Sv/堆年
- 放射性废物最小化

经济性能指标

- 1400MWe级
- 机组设计寿命60年
- 机组目标可利用率 $\geq 93\%$
- 换料周期18个月，具备24个月换料能力
- 平均卸料燃耗 ≥ 50000 MWd/tU
- 机组批量单位造价低于AP1000
- 具有MOX燃料的装载能力

3. CAP1400总体技术方案

主要参数

主要参数	AP1000	CAP1400
堆芯热功率, MWt	3400	4040
预期电功率, MWe	~1250	~1500
冷却剂平均温度, °C	300.9	304
RCS压力, MPa(a)	15.5	15.5
堆芯燃料组件数	157	193
燃料组件类型	AP1000型	RFA改进型或自主开发
平均线功率密度, W/cm	187	181
蒸汽发生器类型	△125	自主开发
SG出口蒸汽压力, MPa(a)	5.61	6
主蒸汽流量(每环), kg/s	944	1122
每台泵设计流量, m ³ /h	17886	21642
DNBR裕量	>15%	>15%

3. CAP1400总体技术方案

安全性

- 满足先进三代核电技术要求，考虑福岛事故后相关技术政策
- 平衡电厂系统设计，改进与优化安全系统容量配置，**进一步提升安全设计裕量（如使用大口径爆破阀）**；通过增设早期空气采样式火灾探测系统等方式，减少堆芯损伤频率，**PSA分析结果表明CAP1400安全性得到进一步提高。**
- 安全壳自由容积裕量充足，安全壳承压能力得到进一步加强，**安全壳内压设计余量到10%**（满足SRP要求）。
- 优化堆内构件设计，保证堆芯熔融物滞留（IVR）裕量

项目	性能
专设安全系统	各安全设施的能力相比AP1000增加 20%-38% ，事故应对效果更好
DNBR裕量	> 15%，满足美国URD的要求
安全壳承压设计裕量	> 10%，满足美国标准审查大纲在核电厂初步设计阶段的要求
q/qCHF最大值	0.74，IVR裕量不小于AP1000

项目	CAP1400	AP1000
总CDF	4.00E-7	5.09E-7
总LRF	5.07E-8	5.94E-8

3. CAP1400总体技术方案

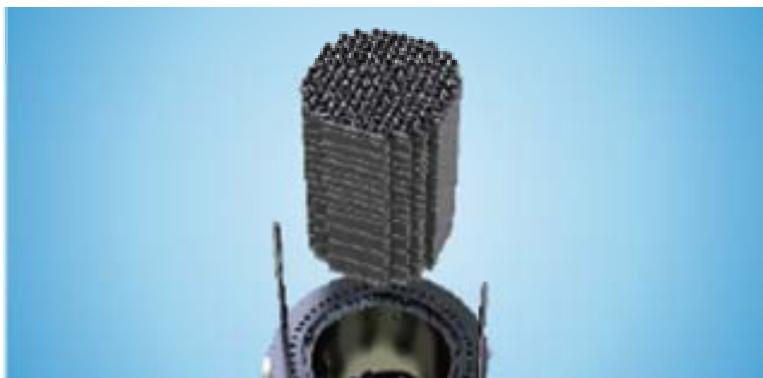
经济性

- 示范工程概算工作结果表明CAP1400具有较好的经济性。
 - ◆ 电厂寿命60年，电厂目标可利用率93%
 - ◆ 机组出力约1500MWe（gross）
 - ◆ 厂房单位功率占地面积更小
 - ◆ 运行成本更低（电厂工作人员数量不变）
 - ◆ 。 。 。

- 后续批量化后，设计采用标准化、设备工艺固化、按型号采购、项目管理模式成熟有效，CAP型号系列在高安全性下，经济性将会持续提高。

3. CAP1400总体技术方案

主要设计特点和研发成果



反应堆设计先进，采用低泄漏装载方案。堆芯采用**193**盒高性能燃料组件，核设计裕量增强，具有**MOX**（钚铀混合）燃料装载能力。



自主设计蒸汽发生器，采用拥有专利的经验证的干燥器，高蒸汽品质。



采用并自主研发**50Hz**的反应堆主冷却剂泵，避免变频器长期运行，提高主泵运行可靠性，减少能耗。



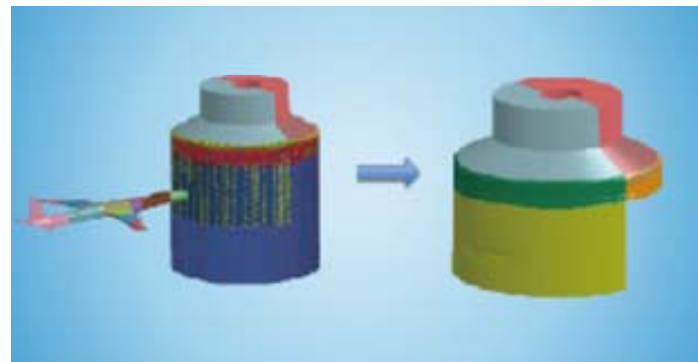
优化设计主系统和辅助系统，优化总体参数，提高机组性能，机组出力达到**1500MWe**。

3. CAP1400总体技术方案

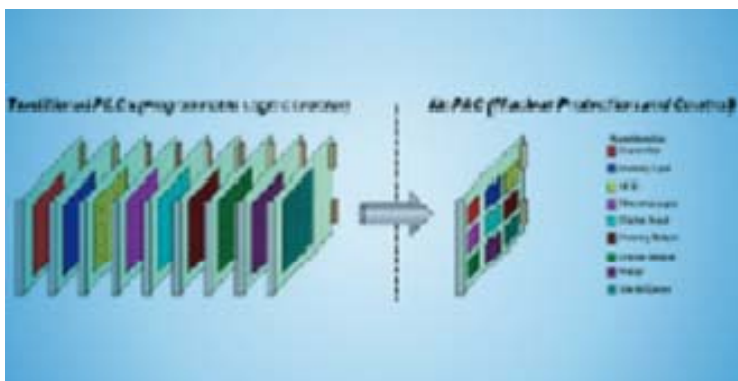
主要设计特点和研发成果



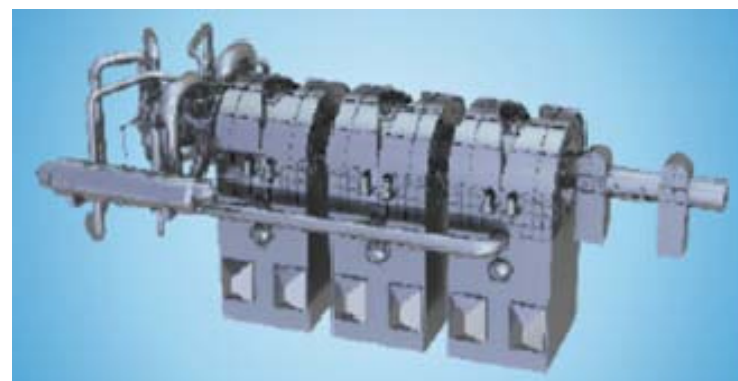
重新设计钢安全壳，自由容积和承载能力裕度较大，安全裕量较高，系统布置确保可达性。



自主设计SC结构（钢板混凝土）屏蔽厂房，具备抗大型商用飞机恶意撞击能力。



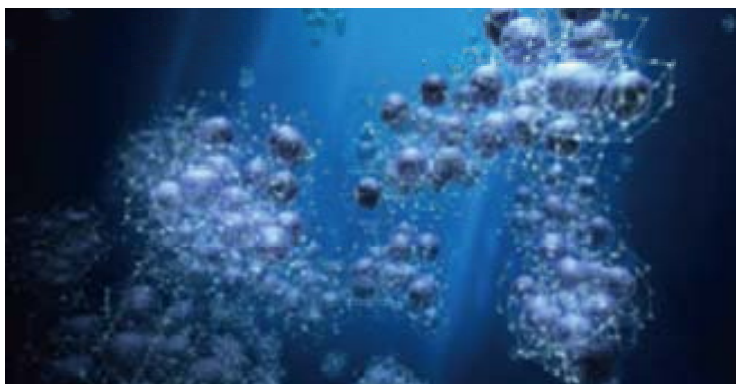
采用基于FPGA（现场可编程门阵列）技术的反应堆保护系统，具有更高安全性。



使用自主开发的国产大型半速汽轮发电机，长叶片的使用使得机组效率进一步优化。

3. CAP1400总体技术方案

主要设计特点和研发成果



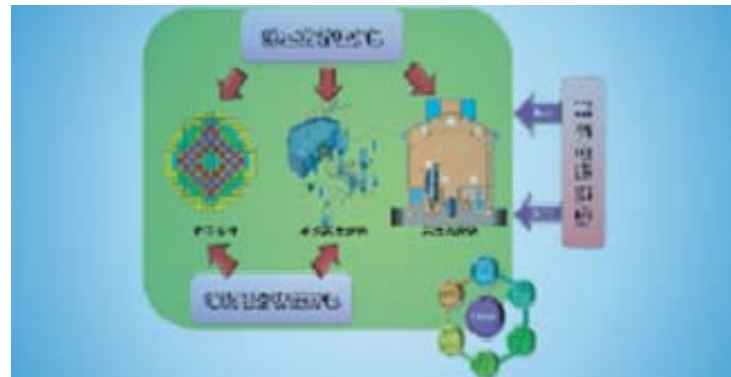
按最新标准设计放射性废物处理系统，改善工艺，实现废物最小化。



进一步增强核电站抗击地震、外部水淹等极端自然灾害的设防，非能动安全系统具备72小时后的补给能力，确保电站安全。



完善事故管理规程，增强事故后监测，提高电厂应急能力。



自主开展试验验证并采用自主开发的COSINE软件系统进行设计校核。

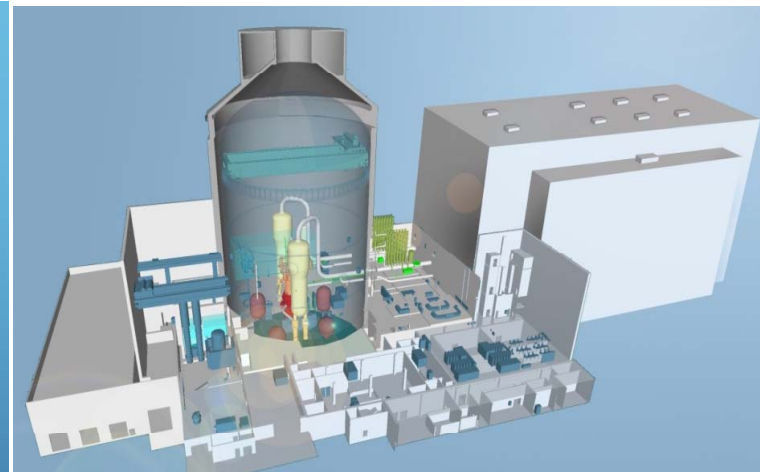
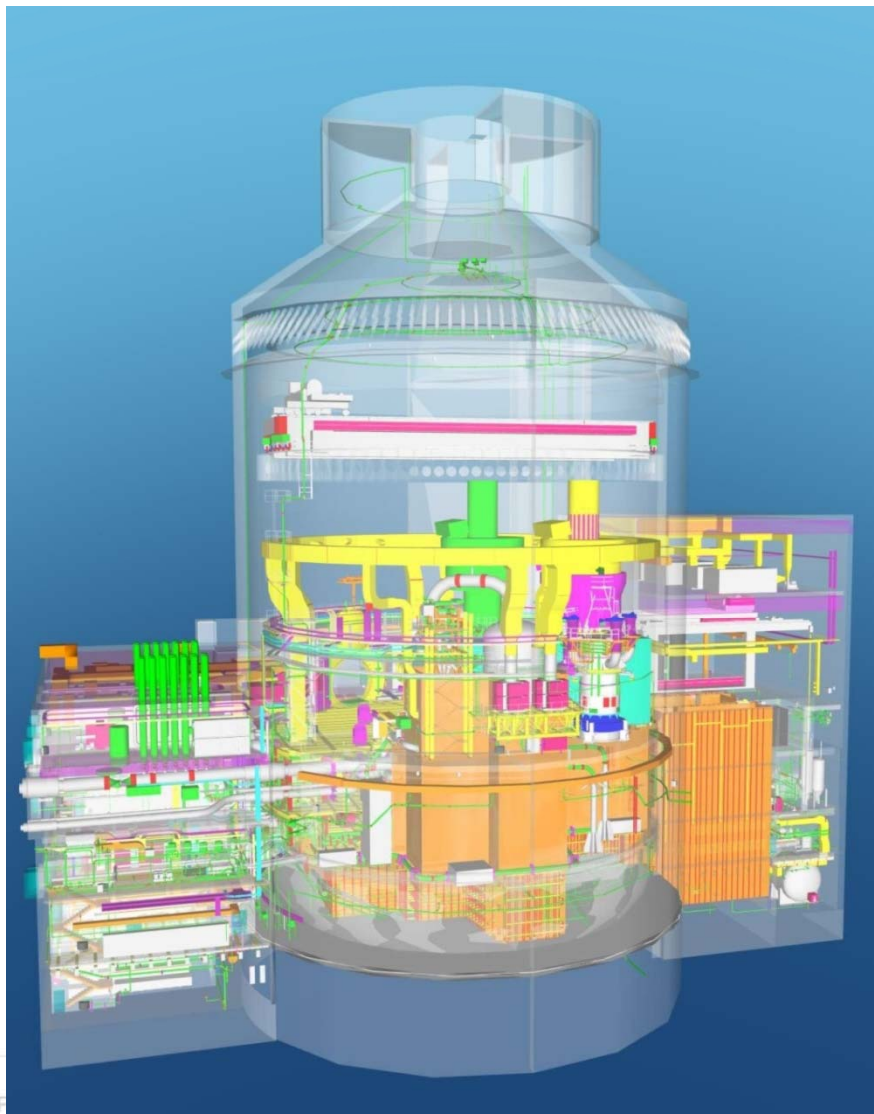
3. CAP1400总体技术方案

CAP1400三维布置设计



3. CAP1400总体技术方案

CAP1400三维布置设计



4. CAP1400关键试验验证情况

设置六大关键试验

非能动安全系统性能试验

- 非能动堆芯冷却系统性能试验
- 非能动安全壳冷却系统性能试验
- IVR试验

关键设备性能试验

- 蒸汽发生器热态性能试验
- 反应堆水力模拟试验
- 堆内构件流致振动试验



IVR试验台架



SG汽水分离热态试验台架



ACME综合台架



CERT台架



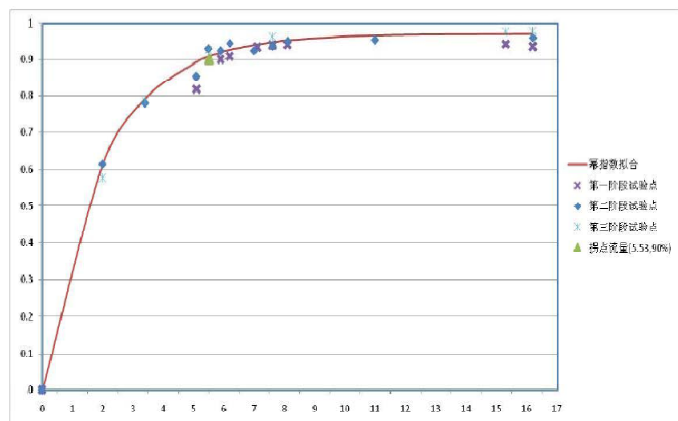
水力模拟试验台架



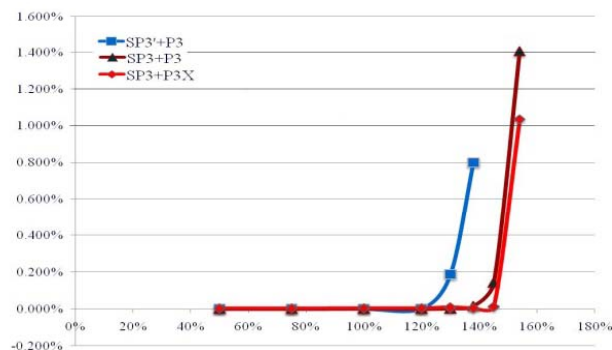
流致振动试验台架

4. CAP1400关键试验验证情况

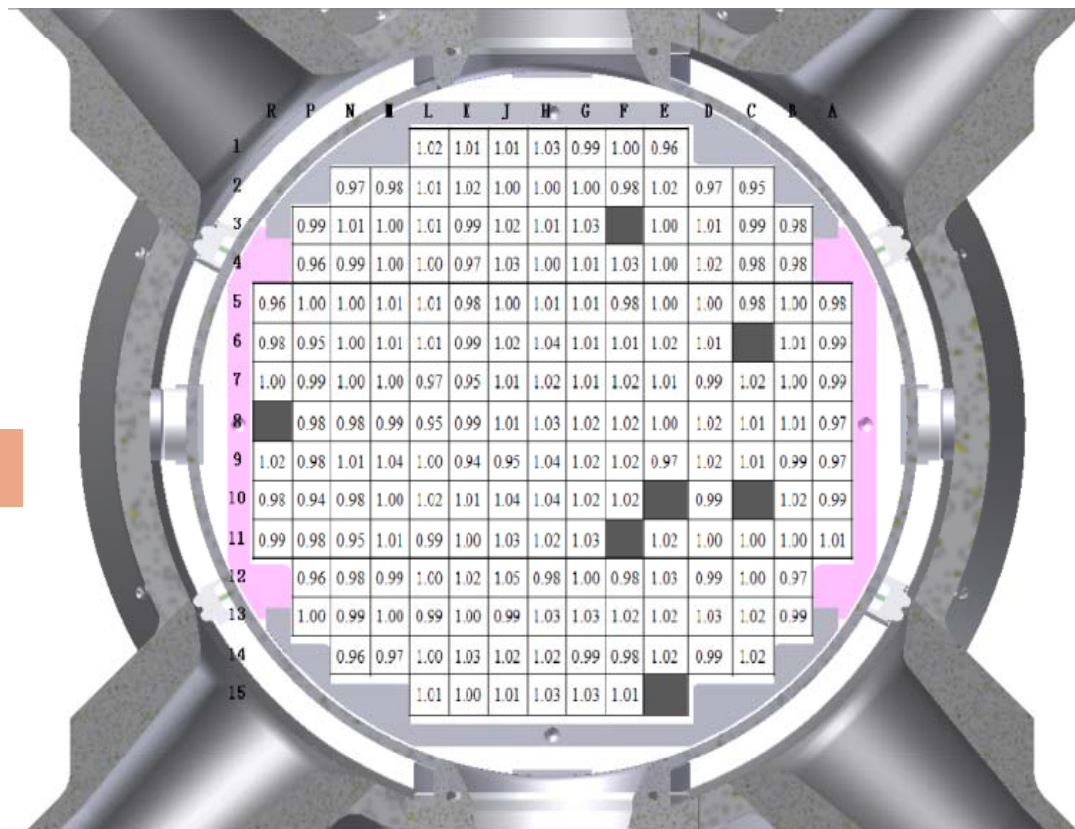
关键验证试验结果表明CAP1400方案是先进可行的



水分配试验结果验证安全分析假设



选取较高性能的双钩波形板-汽水分离



堆芯入口流量分配试验结果-满足要求

5. CAP1400关键设备研制情况

三大电气装备制造基地和两大重型机械制造基地



5. CAP1400关键设备研制情况

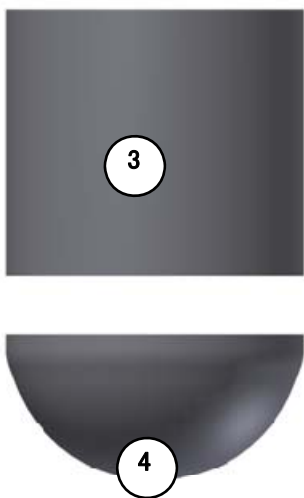
反应堆压力容器



(1) 一体化顶盖（带垂直接管）



(2) 接管段



(3) 堆芯筒体



(4) 一体化下封头

中国一重

5. CAP1400关键设备研制情况

蒸汽发生器



(1) 椭圆封头



(2) 锥形段、筒体B、筒体



(3) 管板组件

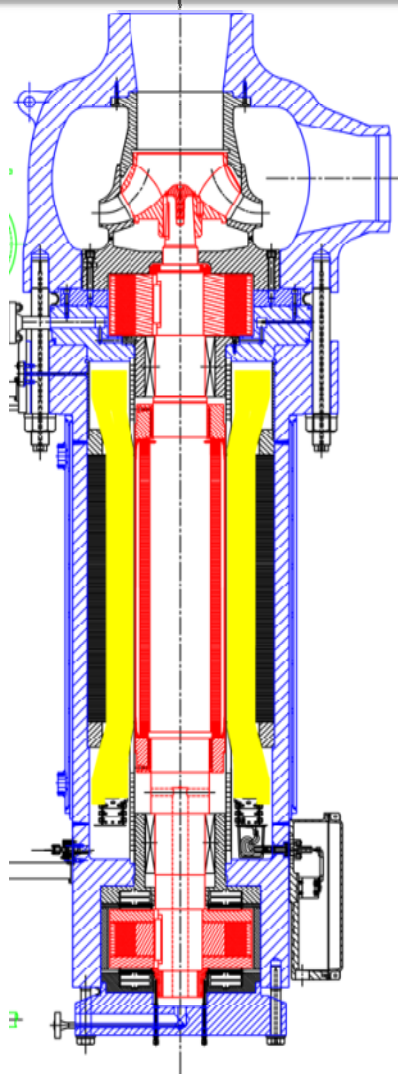


(4) 水室封头

东方电气

5. CAP1400关键设备研制情况

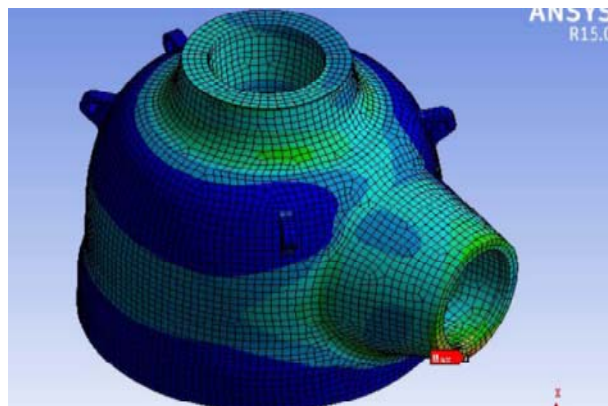
RCS主泵-屏蔽泵



定子指压板



定子绕组模拟件



主泵泵壳三维仿真设计



冲片加工

5. CAP1400关键设备研制情况

RCS主泵-湿绕组泵



上海电气KSB公司



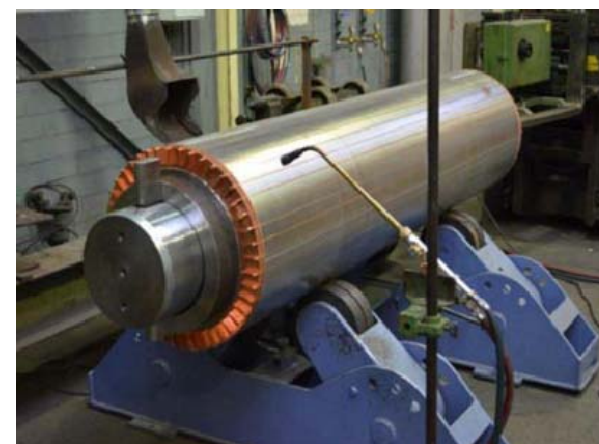
全流量试验台架



全尺寸工程样机组装



定子组件



转子组件

5. CAP1400关键设备研制情况

NuPAC平台



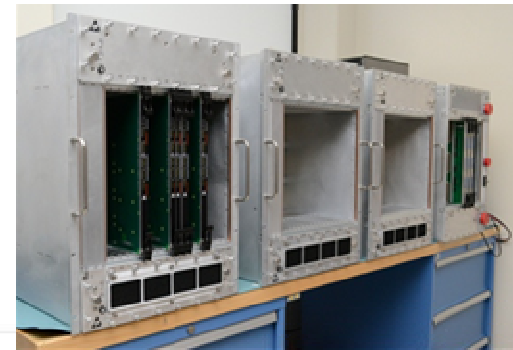
位于美国滨州的联合研发制造基地



全比例工程样机

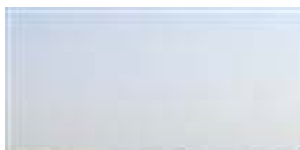


©SNPTC 2013. All rights reserved.



6. CAP1400示范工程建设情况

厂址和现场准备



- 2009年9月国家核电与华能合资组建国核示范电站有限责任公司
- 2013年12月24日达成了在荣成石岛湾厂址共同建设CAP1400示范核电站的战略协议。



场地平整和核岛负挖工作完成

6. CAP1400示范工程建设情况

示范工程里程碑节点

PSAR审评进入收尾阶段



