



AP1000应对福岛事故条件 设计评估

上海核工程研究设计院
2011年10月



目录

1. 概述
2. AP1000设计特点
3. AP1000在福岛事故条件下的响应
4. 小结

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE





1. 概述

□ 福岛核事故简介

- 2011年3月11日，日本东部海域发生里氏9.0级地震，并引发了巨大的海啸。
- 地震触发反应堆停堆，厂外电失效；应急柴油机启动，反应堆进入正常停堆冷却进程。
- 地震约1小时后海啸抵达厂址，超过设计基准水位，淹没应急柴油机厂房，所有交流电源丧失(SBO)。
- 汽动给水泵仍能运行，后因控制电源失效(或者抑压池沸腾)而停止，堆芯隔离冷却系统失效，堆芯余热排出功能全部失效。
- 1-3号机组先后发生堆芯水位下降，燃料棒升温，锆水反应产生氢气，堆芯部分融化。

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE



1. 概述

□ 福岛核事故简介

- 氢气的燃烧和爆炸使厂房破损。
- 最后依靠消防泵注射海水而使1-3号机组堆芯融化过程终止，4号机组乏燃料浸没在水中。
- 福岛第一核电站事故造成大量放射性物质外泄，定级7级，属于级别最高的核泄漏事故。

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE





1. 概述

□ 核安全检查

- 为了充分汲取日本福岛核电站事故教训，我国政府要求对核设施进行全面的安全检查，先后发布了国务院常务会议四项决定、国核安函[2011]32号文以及对于核设施安全检查的实施大纲。
- 按照上述要求，上海核工院协助业主开展AP1000核电厂的核安全自查工作，并积极应对依托项目(三门核电厂一期工程、海阳核电厂一期工程)的安全审评问题及现场检查。
- 根据国家核电技术公司的要求，上海核工院开展针对福岛事件的AP1000设计评估工作，重点关注AP1000在福岛核事故外部条件下的响应及应对能力。

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE



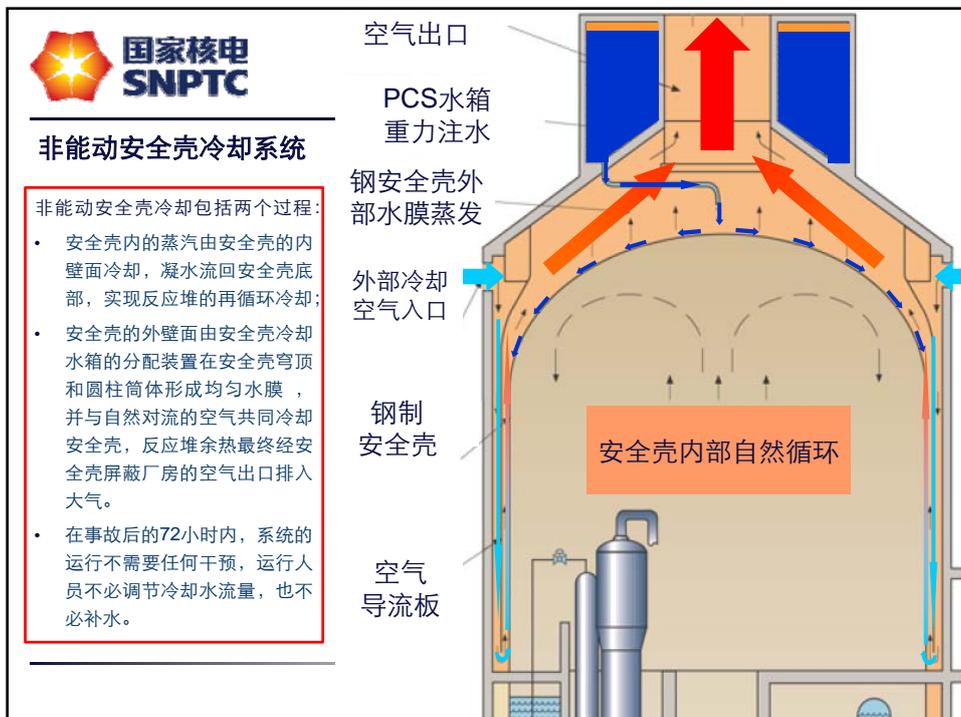
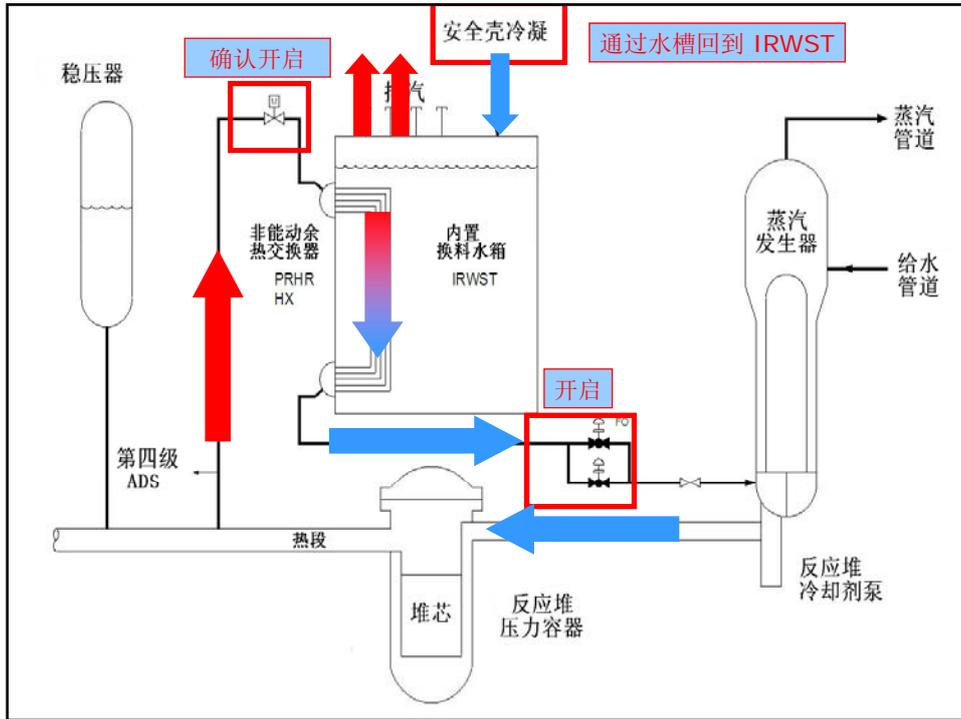
2. AP1000设计特点

□ 非能动安全系统(不依赖于交流电源)

- 非能动堆芯冷却系统(PXS)提供堆芯冷却。
- 非能动安全壳冷却系统(PCS)提供安全壳冷却，非能动安全壳冷却水箱(PCCWST)提供72小时补水。
- 利用池水及安全水源(装料池、清洗池、非能动安全壳冷却水箱)的重力补水提供乏燃料池冷却。
- 非能动安全壳冷却辅助水箱(PCCAWST)提供4到7天的安全壳冷却和乏燃料池补水。
- 安全壳氢气控制系统(VLS)控制安全壳内氢浓度
 - 非能动氢气复合器-设计基准事故
 - 氢点火器-严重事故

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE







2. AP1000设计特点

□ 水源配置

- 用于堆芯冷却的安全壳内置换料水箱，堆芯补水水箱以及安注箱 (2300 m³)
- 非能动安全壳冷却水箱(2900 m³)
- 乏燃料池(乏燃料组件顶部以上水量900 m³)
- 非能动安全壳冷却辅助水箱(3500 m³)

此外，在辅助厂房外侧设置了安全级接口，可用于外部水源的接入。

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE



2. AP1000设计特点

□ 电源配置

- 交流电源
 - 主发电机、外电网(500kV, 220kV)。
 - 备用柴油发电机(非1E级)向用于投资保护和纵深防御功能的负荷(永久性非安全有关负荷)提供电源。
 - 辅助柴油发电机(非1E级)向事故72小时后设施(包括PCS再循环泵、1E级事故后监测系统、主控制室照明、主控制室和仪表间通风设施等)提供电源。
- 直流和不间断电源
 - 1E级直流和UPS系统(IDS)向安全级负荷提供72小时电源。
 - 非1E级直流和UPS系统(EDS)向非安全级负荷(包括氦点火器)提供电源。

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE





2. AP1000设计特点

□ 仪控系统

- 数字化的集散控制系统，成熟、先进的技术。
- 设置保护和安全监测系统(PMS)用于驱动安全功能，实现并维持电厂安全稳定的停堆工况。
- 应对PMS共模失效，设置多样化驱动系统(DAS)，带有独立的电源、指示和控制，可实现电厂停堆和驱动选定的专设安全设施。

□ 抗震设计

- 安全停堆地震(SSE)峰值地面加速度(PGA)取为0.3g，可覆盖国内目前已知厂址。

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE



3. AP1000在福岛事故条件下的响应

AP1000在福岛事故条件下的响应评估，包括：

- 评估假设条件
- 地震带来的影响
- 海啸水淹带来的影响
- 电厂响应分析

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE





国家核电
SNPTC

3. AP1000在福岛事故条件下的响应

□ 评估假设条件

- 地震：厂址峰值地面加速度(PGA)为0.52g。
- 水淹：地震1小时后海啸抵达，海啸最高9m，考虑到建筑物和地理效应，汽轮机厂房和附属厂房淹没至5.2m，维持2小时，此后至5小时线性退至厂坪0m标高。
- 大气温度：一天内最高40℃，最低30℃的余弦分布(保守假定，福岛事故发生在0℃左右)。

AP1000按0.3g进行抗震设计，而三门、海阳厂址实际设计基准地震水平向分别为0.15g和0.175g，竖向分别为0.10和0.117g。三门、海阳厂址区及附近范围不存在发生地震海啸的地质构造条件及受远海地震海啸影响的可能性。

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE



国家核电
SNPTC

3. AP1000在福岛事故条件下的响应

□ 地震带来的影响

- 安全级构筑物、系统和部件(SSC)抗震能力评价
 - 采用抗震裕度评价(SMA)方法对电厂安全级SSC进行评估。
 - 屏蔽厂房各部位(包括顶部水箱)的HCLPF值均高于0.52g。
 - 其它安全级SSC(包括乏燃料池)的高置信度低失效概率(HCLPF)值均高于0.52g(基岩条件)。

安全级SSC在PGA为0.52g的地震下不会发生结构失效。

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE





国家核电
SNPTC

3. AP1000在福岛事故条件下的响应

□ 地震带来的影响

➢ 钢安全壳评价

- 考虑“自重+设计内压+地震”不利组合，评估表明在0.52g地震水平作用下，安全壳仍能满足ASME规范第III卷的要求。
- 事故下PCS动作后，安全壳上水膜厚度小于0.5mm，安全壳筒体部分厚度为44.5mm，单位面积上水膜重量只占安全壳重量的0.15%，水膜质量对整个安全壳受力的影响可忽略。
- 在0.52g地震作用下，安全壳结构与屏蔽厂房两者最不利组合相对运动位移为94.5mm，远小于空腔净距(约1m)，屏蔽厂房与安全壳结构不会发生碰触。

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE



国家核电
SNPTC

3. AP1000在福岛事故条件下的响应

□ 海啸水淹带来的影响

- 非能动安全系统不受水淹影响，包括非能动堆芯冷却系统，非能动安全壳冷却系统，乏燃料池及相关水源。
- 远程多样化驱动系统(DAS)机柜及其4小时蓄电池不受水淹影响。

72小时内，上述功能可保证电厂堆芯、安全壳及乏燃料的安全；72小时后，仅需向安全壳和乏燃料池提供补水，且AP1000已设置了安全级的抗震接口用于外部水源接入。此种补水模式不会出现类似福岛由于安全壳内高压导致无法注水的情况。

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE





国家核电
SNPTC

3. AP1000在福岛事故条件下的响应

□ 电厂响应分析

- 地震导致厂外电丧失，触发反应堆停堆。
- 非能动安全系统由于失效安全的设计而自动启动，且72小时内无需任何支持(如电源或控制)即可持续运行，带出堆芯和安全壳内的热量。
- 乏燃料池及其相关水池为抗震I类，操纵员手动开启乏燃料池的补水通道即可确保乏燃料池至少72小时的冷却。
- 事故72小时后，需对安全壳和乏燃料池提供补水，AP1000设计提供了抗震I类管道和接口可连接支援设备(外部电源和水源)。

事件中堆芯和乏燃料池可得到持续冷却，燃料不会破损，没有氢气和放射性物质泄漏到外界环境中。

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE



国家核电
SNPTC

4. 小结

- 经上述评估表明，即使在福岛事故这样极端的外部条件下，AP1000 also 具有很强的抵抗事故能力
 - 安全级SSC在PGA为0.52g的地震下不会发生结构失效。
 - 依靠非能动特性及操纵员的有限操作，72小时内能够带出堆芯/乏燃料的衰变热，维持安全壳和乏燃料池的完整性。
 - 72小时后，依靠有限的厂外支持，能够维持电厂长期安全状态。

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE





**谢谢，
期待您的交流探讨！**

上海核工程研究设计院
SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH & DESIGN INSTITUTE

