



中国核能行业协会主办

CNEA

# 中国核能

CHINA NUCLEAR ENERGY

李克强:加快科技创新 发展先进核电产业

内陆核电厂需关注的问题及不同类型核电机组适宜性的分析

大亚湾核电站:高起点起步 实现我国大型商用核电站零的突破

## 关注我国内陆核电站建设



内部资料 免费交流  
京内资准字 0808-L0063 号

2008 年第 **3** 期



# 采用 AP1000 技术 发展内陆核电势在必行

国家核电技术公司专家委员会 缪鸿兴

我国核电站迄今为止都建在沿海，主要原因是沿海地区经济发达程度较高，发展速度比较迅速，对能源需求的增长也较快。随着我国经济的快速发展，内陆的中西部地区的经济和电网容量也有了很大发展，有些内陆省份与

沿海地区一样存在着缺乏煤炭和水力资源的问题，需要建设核电来缓解缺电的矛盾。因此，有必要将“沿海地区优先发展核电”的战略向“沿海和内陆地区并重发展核电”转移，发展内陆核电势在必行。

## 发展内陆核电是经济建设的需求

发展内陆核电是经济发展的需要。改革开放 30 年来的发展，“经济比较发达”和“一次能源缺乏”已经不再是沿海地区的独有特征。内陆地区的中部其经济发展水平已经达到或超过了核电发展初期时的广东及江浙地区，一次能源和电力短缺问题日益突出；内陆地区对核电电价承受力大大增强，建设核电站的经济条件已趋成熟。

发展内陆核电是能源需求和能源安全的需要。缺电已经成为全国性问题，一次能源缺乏也已经成为制约内陆发达省份经济发展的瓶颈。内陆许多省份的一次能源已经不能支撑电力需求，经常出现电力紧张的局面，大大影响了当地经济发展。为了缓解一次能源(煤炭)和水力资

源缺乏的状况，需要建设一批核电项目。今年年初，中国南方发生大面积、长时间冰雪灾害，造成广大地区长时间断电。为防止类似情况发生，除增强电网本身抗灾能力外，还必须在各个地区建设一批在紧急情况下可不依赖于燃料运输支撑的电站。从保障能源安全的高度来认识，核电站是一种最佳的选择。

发展内陆核电是环境保护的需求。我国能源结构中，火力发电站占全国总发电量的比重高达 80%，其中煤电占的比重超过 70%。电力行业排放的二氧化硫已超过全国排放总量的 40%，对我国大气环境和城市造成了严重污染。为了减轻环境的压力，在内陆地区建设核电站也是一个最佳方案。

## 我国内陆核电站的选型

2006 年世界运行核电厂的 437 台机组中，内陆滨河、滨湖核电机组占已投运核电机组总数的 50.1%。美法等核电大国的核电厂和核电机组的分布以及建造的先后次序，都不是以内陆地区和滨海地区为依据的，而是根据国家的电量需求和电网分布情况来规划的。内陆核电站的设计和运行不存在特殊的安全和环保问题。

内陆和滨海核电厂厂址选择所采用的相关法规和标准基本上是一致的，内陆核电厂选址可以因地制宜，滨河

或滨湖均可满足核电厂的水源要求；美国用户要求文件(URD)和欧洲用户要求文件(EUR)规定的技术要求，对内陆和滨海地区核电站都是适用的。目前，我国核电建设已积累了丰富的经验，技术日臻成熟，内陆地区建设核电站的经济条件已趋成熟。

在“采用世界先进技术，统一技术路线，积极推进核电建设”的核电发展方针下，我国成功地引进了世界最先进的第三代非能动压水堆核电站 AP1000 技术。2007 年



7月24日,国家核电技术公司与美国西屋联合体签订合同并于当年正式生效。根据内陆地区经济发展情况、人口密度、厂址条件、环境要求等特点,内陆核电站必须选择一个安全、经济和有持续发展前途的核电站堆型,AP1000则是一个最优选择。

## (一) AP1000 非能动核电站的优越性

我国引进的第三代 AP1000 非能动核电站是一种安全、经济和有持续发展前途的核电站堆型。

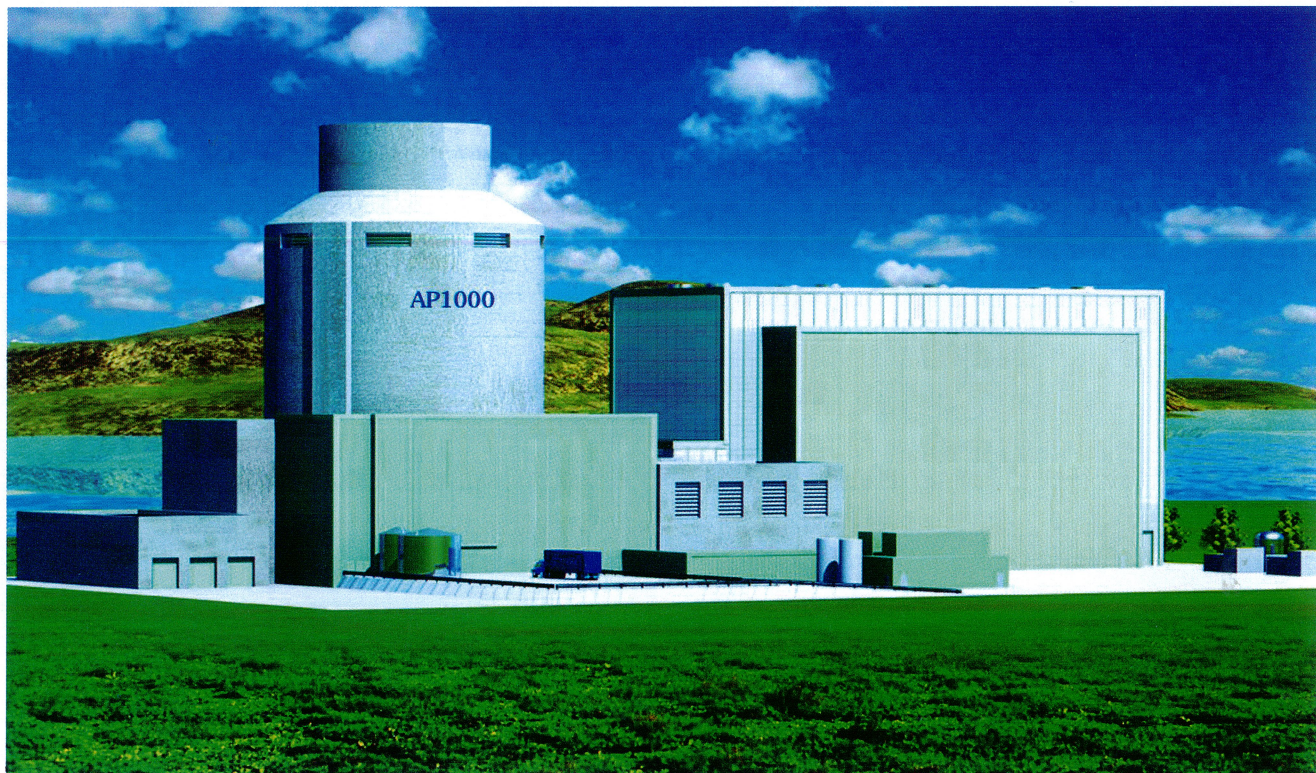
AP1000 设计采用了先进的“非能动”安全设计理念。安全系统的设计采用重力、自然循环等自然力和蓄能驱动流体流动,在异常事件或事故情况下,带走堆芯余热和安全壳的热量,不需要外部能源;不使用泵、风机或应急柴油发电机等能动部件;在没有交流电源、设备冷却水、厂用水以及供暖、通风与空调等安全级支持系统的情况下,可以保持核电厂的安全;使核电厂得到进一步简化、安全性能得到进一步提高、安装建造技术得到进一步提升,电厂的运行和可维修性能得到进一步改善。

## 1. 安全性

AP1000 的安全性远远高于第二代压水堆核电站。AP1000 采用了非能动的安全系统,其反应堆堆芯损伤频率(CDF)和大量放射性释放频率(LRF)分别为  $5.081 \times 10^{-7}$  堆年和  $5.95 \times 10^{-8}$  堆年,比第二代压水堆核电站低 2~3 个量级;发生事故后 72 小时内,不需要操纵员采取任何手动干预动作,大大减少人因错误;将堆芯熔融物滞留在压力容器内(IVR),避免了堆芯熔融物和混凝土底板发生反应,使 LRF 降到最低。

## 2. 成熟性

AP1000 的最大特点是专设安全系统采用了非能动技术。西屋公司利用了几个国家的力量建立了一系列的单项和综合试验验证装置,进行了大量的试验验证;在此基础上,开发了非能动专设安全系统专用的分析设计程序,设计了 8 个用于预防和缓解设计基准事故和严重事故措施的非能动专设安全系统;非能动专设安全系统经过美国核管理委员会(NRC)的严格审查和批准。因此,AP1000 的非能动系统已达到成熟性的要求。



AP1000 效果图



AP1000 的反应堆和反应堆冷却剂系统(RCS)基本上与第二代核电厂相同。反应堆和堆内构件,与西屋公司设计和正在运行的比利时 Doel 4 和 Tihange 3 核电厂基本相同;RCS 采用二环路主系统,基本上和 CE 公司设计的第二代“系统 80”核电厂相同,不同之处是主泵采用屏蔽电机泵;正常运行的重要辅助系统,如化学和容积控制系统(CVS) 等和第二代核电厂也是相同的,只是更简化了。

### 3. 经济性

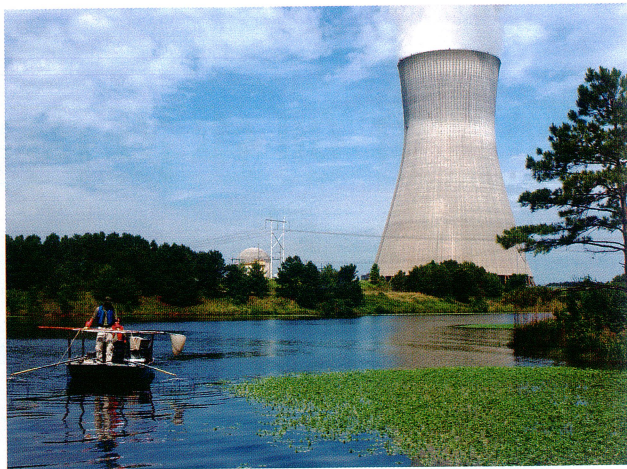
由于 AP1000 专设安全系统采用非能动理念,使专设安全系统配置简化、安全支持系统减少、安全级设备和抗震厂房减少、IE 级应急柴油机系统和很多能动设备被取消,以及大宗材料需求明显降低。AP1000 专设安全系统及其设备数量得到大幅度的减少,它的阀门、管道、电缆、泵、抗震厂房容积分别减少了 50%、80%、70%、35%、和 45%。再加上设计和建造采用模块化技术,由此派生出了设计简化、系统设置简化、工艺布置简化、施工量减少、工期缩短以及运行方便、维修简单等一系列效应。从长远观点来看, AP1000 不仅使安全性能得到显著提高,而且建造和长期运行费用也得到明显降低,在经济上也具有较强的竞争潜力。这种优势在 AP1000 核电厂批量建造后将会越来越明显。

### 4. 放射性排出物

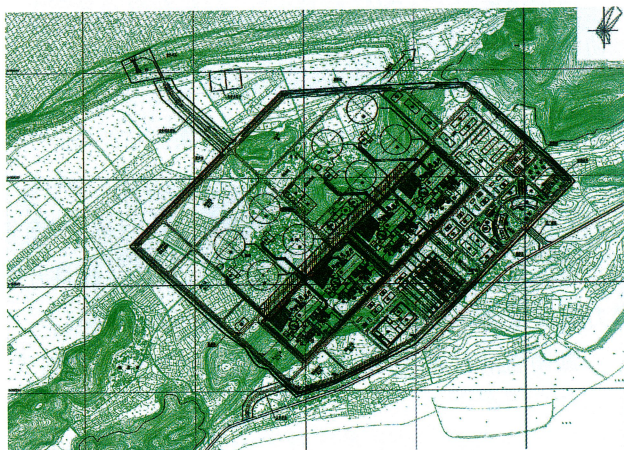
由于 AP1000 的系统简化,维修简单,从而核电厂的放射性液体排放量和固体废物产生量较小,减轻了放射性废物处理和处置的环境压力。另外,AP1000 核电站的标准设计的环境条件涵盖了我国内陆地区的环境条件,机组采用冷却塔的冷却方案,尤适合于内陆滨河或滨湖地区。

(二)引进 AP1000 技术的消化吸收和国产化是国家发展核电政策的要求

AP1000 技术的消化吸收和国产化工作是我国核电自主化的关键。要求精心组织、周密制定有效的实施计划,包括核岛核心技术和关键设备的技术攻关和研发,要充分挖掘国内设备制造企业的能力,通过自主化依托项目 4 台核电机组的技术引进和消化吸收,大幅提高我国装备制造业的技术水平和制造能力,使我国核电的关键



美国希伦核电站



江西彭泽核电厂厂址总平面图

设备不再受制于人。

根据中央领导和国家能源局的指示精神,国家核电把建成内陆核电站作为真正消化吸收三代核电 AP1000 技术的标志之一,正在全面推进内陆 AP1000 核电站建设的前期准备工作,包括:进一步协助有关方面落实内陆核电站厂址的准备;组织实施 AP1000 内陆电站的研发和设计,确定了 AP1000 内陆核电国产标准化设计工作时间表,并已经开始实施。目前,国家核电下属的上海核工程研究设计院和山东电力工程咨询院正在积极开展 AP1000 内陆核电站自主化、标准化的研究和设计工作以及江西彭泽厂址的内陆核电建设的前期准备工作。

通过消化吸收,达到我国自主化设计和建设内陆 AP1000 核电站的目的,不仅是检验消化吸收效果的最佳途径,也将为核电建设再创新夯实基础。