

国际原子能机构专题会议文集

# 先进核电系统

设计·技术·安全及其部署战略



原子能出版社

# 先进核电系统

## 设计·技术·安全及其部署战略

苏宜森 徐燕生 陈晓东 译  
郭永吉 龚俊 焦存芝

王传英 严叔衡 陈世齐 审校  
袁良本 吕延晓 宋清林



00415400

原子能出版社

图字:01-96-1593 号

图书在版编目(CIP)数据

先进核电系统:设计、技术、安全及其部署战略/国际原子能机构著;苏宜森等译. —北京:原子能出版社,1997. 7

书名原文:Advanced Nuclear Power Systems;Design, Technology, Safety and Strategies for their Deployment

ISBN 7-5022-1709-6

I. 先… I. ①国… ②苏… III. 核电站-系统-国际会议-文集  
N. TM623-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 13002 号

Advanced Nuclear Power Systems;  
Design, Technology, Safety and Strategies for their Deployment

© IAEA, 1993

(中译本的出版得到国际原子能机构的许可,  
但国际原子能机构声明不对该中译本的出版承担责任)

**先进核电系统**  
设计·技术·安全及其部署战略

苏宜森 徐燕生 等译

© 原子能出版社, 1997

原子能出版社出版 发行

社址:北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码:100037

北京地质印刷厂印刷 新华书店经销

开本:850×1168 mm 1/32 印张 15 字数 403 千字

1997 年 7 月北京第 1 版 1997 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1~500

定价:35.00 元

## 内 容 简 介

1993 年 10 月 18~22 日在韩国汉城召开了有关先进核电系统的设计、技术、安全及其部署战略的专题讨论会,本书为这次会议的论文集,主要包括就宏观方面进行阐述的 22 篇特邀报告和 4 篇背景报告,及开幕词、会议概述与结论等,反映了情报交流、设计目标、发展规划、国际合作、战略部署、安全原则及管理规章等方面的新观点。

本书对于从事核电及相关工作的科研人员、高等院校核能专业的教师和学生,是一本极好的参考书。

## 前 言

这次有关核电系统设计、技术、安全及其部署战略的专题讨论会的目的在于为高层决策者,就核电的需求与先进核电系统突出的特点,通过开展讨论提供一种概括性的了解;为讨论这类系统的设计目标和安全方案以及管理部门的看法提供一个讲坛;就开发这些系统可能遇到的障碍以及评价克服这些障碍的战略提供一个讲坛;以及为评价发展国际合作与开发这类系统的方案提供一个讲坛。

因为先进核电系统的技术描述已定期地在其他的国际会议上介绍过,所以这次专题讨论会由主要就宏观方面进行阐述的 22 篇特邀报告与 4 篇背景报告所组成。其中约半数论文是由国际专家组提供的。分组会期间所讨论的议题包括管理部门对先进反应堆安全方面的见解和发展先进核电系统的障碍与战略。本论文集包括开幕词以及为本次专题讨论会提供的特邀报告和背景报告。

本专题讨论会于 1993 年 10 月 18~22 日在韩国的汉城召开,会议由国际原子能机构(IAEA)组织,东道主是代表韩国政府的韩国电力公司(KEPCO)。另外,欧共体委员会、韩国核学会、世界经济合作与发展组织(OECD)的核能机构以及世界能源委员会都为筹备本次专题讨论会进行了共同合作。约有 29 个国家和 5 个组织共 400 名代表参加了会议。

国际原子能机构对韩国政府和韩国电力公司为本次专题讨论会提供的设施方面的慷慨帮助和重要支持表示由衷的感谢。

# 目 录

## 开幕会议

### 开幕词

- Hans Blix ..... 郭永吉 译 吕延晓 审校 (3)
- Si-Joong Kim ..... 郭永吉 译 吕延晓 审校 (8)
- Chong-Hun Rieh ..... 郭永吉 译 吕延晓 审校 (11)

### 基调报告

- 韩国在先进核电系统的研究、发展和商业化中有关成本、  
风险和外在因素方面的前景 ..... Byong-Whi Lee  
郭永吉 译 吕延晓 审校 (14)

## 其他相关会议的引言与综述(第一分会场)

- 核电在可持续发展能源战略中的地位 ... B. A. Semenov 等  
郭永吉 译 吕延晓 审校 (25)
- 先进轻水堆主要技术问题国际专题讨论会:  
TOPNIX'93 概要和结论 ..... P. Bacher  
郭永吉 译 吕延晓 审校 (44)
- 先进非水冷核反应堆的设计趋势和主要技术问题 .....  
..... S. Kondo  
郭永吉 译 吕延晓 审校 (52)
- 着重于非电力应用的中小型反应堆 ..... W. Balz 等  
苏宜森 译 严叔衡 审校 (70)
- 发电选择的专题讨论会概要 ..... J. E. Gray  
苏宜森 译 严叔衡 审校 (98)

1993 年国际核能大会——面向更美好的未来：

我们如何满足 21 世纪的能源需求？核电的作用是什么？ .....

..... D. R. Anderson

苏宜森 译 严叔衡 审校 (111)

## 先进核电系统的设计和安全目标(第二分会场)

电力研究所的先进轻水堆计划的安全、技术及经济目标 .....

..... J. J. Taylor 等

苏宜森 译 严叔衡 审校 (129)

先进反应堆的设计目标：欧洲电力公司的观点 .....

..... J. A. Board 等

徐燕生 译 陈世齐 审校 (142)

亚洲先进核电系统的设计及安全目标 .....

..... S. K. Chatterjee 等

焦存芝 译 袁良本 审校 (155)

东欧先进反应堆的设计目标 .....

J. Kralovec 等

焦存芝 译 袁良本 审校 (173)

先进反应堆的设计和安全目标：重水反应堆的前景 .....

..... A. R. McKenzie 等

焦存芝 译 袁良本 审校 (186)

核电厂安全原则 .....

H. J. C. Kouts

焦存芝 译 袁良本 审校 (194)

超越下一代的核电厂 .....

M. Rosen

焦存芝 译 袁良本 审校 (200)

## 专题讨论小组：先进反应堆安全方面的管理经验与观点

声明书 .....

F. J. Remick

焦存芝 译 袁良本 审校 (209)

|                |                |       |
|----------------|----------------|-------|
| 声明书 .....      | A. Ferreli     |       |
|                | 焦存芝 译 袁良本 审校   | (214) |
| 声明书 .....      | A. T. Gutsalov |       |
|                | 焦存芝 译 袁良本 审校   | (217) |
| 声明书 .....      | S. K. Lee      |       |
|                | 焦存芝 译 袁良本 审校   | (220) |
| 声明书 .....      | D. Quéniart    |       |
|                | 焦存芝 译 袁良本 审校   | (225) |
| 专题讨论小组总结 ..... | 焦存芝 译 袁良本 审校   | (229) |

## 部署先进核电系统的障碍和统略(第三分会场)

|                               |                 |       |
|-------------------------------|-----------------|-------|
| 西欧和北美部署先进反应堆所遇到的问题和解决办法 ..... | K. Foskolos 等   |       |
|                               | 龚俊 译 宋清林 审校     | (233) |
| 东欧先进反应堆部署中所遇到的问题和解决办法 .....   | J. Beranek 等    |       |
|                               | 龚俊 译 宋清林 审校     | (262) |
| 亚洲地区部署先进核反应堆的障碍及其处理方法 .....   | J. S. Suh 等     |       |
|                               | 龚俊 译 宋清林 审校     | (274) |
| 发展中国家的先进核电系统:机会与挑战 .....      | L. L. Bennett 等 |       |
|                               | 龚俊 译 宋清林 审校     | (294) |
| 改善公众对先进反应堆接受的研究中的变化 .....     | W. Kröger 等     |       |
|                               | 陈晓东 译 王传英 审校    | (309) |
| 先进核电厂的宣传 .....                | A. S. Bisconti  |       |
|                               | 陈晓东 译 王传英 审校    | (331) |



|                 |                    |
|-----------------|--------------------|
| 影响接受核能的因素 ..... | E. K. Scheuch      |
|                 | 陈晓东 译 王传英 审校 (340) |

## 专题讨论小组:对先进核电系统部署的障碍和战略的评价

|                |                    |
|----------------|--------------------|
| 声明书 .....      | A. C. Lacoste      |
|                | 陈晓东 译 王传英 审校 (357) |
| 声明书 .....      | J. J. de Jong      |
|                | 陈晓东 译 王传英 审校 (359) |
| 声明书 .....      | A. J. Baer         |
|                | 陈晓东 译 王传英 审校 (361) |
| 声明书 .....      | S. -Y. Kim         |
|                | 陈晓东 译 王传英 审校 (364) |
| 声明书 .....      | D. J. McGoff       |
|                | 陈晓东 译 王传英 审校 (366) |
| 专题讨论小组总结 ..... | 陈晓东 译 王传英 审校 (370) |

## 对于部署先进核电系统的国际合作的选择(第四分会场)

|                                 |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| 加强先进核电技术研究和发                    | 展领域的国际合作 .....        |
|                                 | ..... E. Balthesen 等  |
|                                 | 陈晓东 译 王传英 审校 (373)    |
| 法国、德国和英国之间未来核电厂的管理合作 .....      |                       |
|                                 | ..... A. C. Lacoste 等 |
|                                 | 徐燕生 译 陈世齐 审校 (388)    |
| 国际合作:核电进一步发展的条件 .....           | B. D' Onghia 等        |
|                                 | 徐燕生 译 陈世齐 审校 (400)    |
| 在需要国际合作发展和推广先进核电系统的问题上韩国的观点 ... |                       |
|                                 | ..... Young Ku Yoon 等 |
|                                 | 徐燕生 译 陈世齐 审校 (407)    |

|                   |                  |        |       |
|-------------------|------------------|--------|-------|
| 国际合作示例:欧洲快堆 ..... | R. Del Beccaro 等 |        |       |
|                   | 徐燕生 译            | 陈世齐 审校 | (418) |

|                |            |        |       |
|----------------|------------|--------|-------|
| 核安全条约的进展 ..... | M. Rosen 等 |        |       |
|                | 徐燕生 译      | 陈世齐 审校 | (431) |

## 专题讨论小组

|           |            |        |       |
|-----------|------------|--------|-------|
| 声明书 ..... | K. Uematsu |        |       |
|           | 徐燕生 译      | 陈世齐 审校 | (441) |

|           |          |        |       |
|-----------|----------|--------|-------|
| 声明书 ..... | S. Finzi |        |       |
|           | 徐燕生 译    | 陈世齐 审校 | (446) |

|           |              |        |       |
|-----------|--------------|--------|-------|
| 声明书 ..... | D. J. McGoff |        |       |
|           | 徐燕生 译        | 陈世齐 审校 | (450) |

|           |           |        |       |
|-----------|-----------|--------|-------|
| 声明书 ..... | P. Bacher |        |       |
|           | 徐燕生 译     | 陈世齐 审校 | (452) |

|           |       |        |       |
|-----------|-------|--------|-------|
| 声明书 ..... | 赵成昆   |        |       |
|           | 徐燕生 译 | 陈世齐 审校 | (454) |

|                |       |        |       |
|----------------|-------|--------|-------|
| 专题讨论小组总结 ..... | 徐燕生 译 | 陈世齐 审校 | (456) |
|----------------|-------|--------|-------|

## 闭幕会议

|                   |               |        |       |
|-------------------|---------------|--------|-------|
| 专题讨论会的概要和结论 ..... | B. A. Semenov |        |       |
|                   | 徐燕生 译         | 陈世齐 审校 | (461) |

|            |       |        |       |
|------------|-------|--------|-------|
| 会议主席 ..... | 徐燕生 译 | 陈世齐 审校 | (464) |
|------------|-------|--------|-------|

|             |       |        |       |
|-------------|-------|--------|-------|
| 会议秘书处 ..... | 徐燕生 译 | 陈世齐 审校 | (465) |
|-------------|-------|--------|-------|

# 开 幕 会 议

会议主席

**Chong-Hun RIEH**

韩 国



# 开 幕 词

**Hans Blix**

**国际原子能机构总干事**

**维 也 纳**

我非常高兴欢迎你们诸位来参加“先进核电系统 IAEA 国际专题讨论会”。我谨代表组织者和参加者,对韩国政府和韩国电力公司作为在汉城举办这次讨论会的东道主表示感谢并感谢他们对会议的慷慨支持。

在本次讨论会一开始,就提出对先进核电系统是否存在任何需求的问题也许是适宜的。在西方工业化世界,目前甚至法国也大大减缓了其新核电站建造计划的速度——肯定的回答并非像东亚地区那样不言而喻,在那里几处大规模的经济在迅速增长并且依赖于同样快速而可靠增长的能源供应。

在西方工业化世界的许多国家中,我们都正受到一种你们可能称之为“后工业残余”的损害。生活水平惊人地得到提高,但我们发现,我们曾经而且现在仍然存在着资源的浪费和对废物的忽视,结果导致严重的污染和环境问题。在某些人群中,由于高水平的消费而失去良知,可是大多数人面对污染和环境恶化表现出正当的忧虑。

这些情绪往往导致反核的态度,高技术包括核电,核看作是一种非人格、非人性社会的象征,而几千年都有放射性的,高毒性核废物,被许多人看作是一种工业化社会所有危险废物的象征。核废物在数量和体积上都有限,在整体上都可受到处置这样一个事实目前很少得到反映,然而,主要的替代能源——化石燃料的废物体积如此之大,以致大气和地球表面都不可避免地成为最终的处置场!我们谈到废物的两种处置方法,一种是我们处理化石燃料废物的方法,即稀释和散播,另一种是处置核废物的方法,即浓缩和封闭。随着地球大气

层负担过于沉重,特别是由于  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  和  $\text{CO}_2$  的散播,我毫不犹豫地表示我对浓缩和禁闭方法的支持,用来处理高放核废物和用于乏核燃料的处理,也就是两种情况都将金属容器深深埋入稳定的地质构造中。

正如我们都知道的那样,虽然有一些国家的军事部门曾对核废物漫不经心地处理过——有时倒入海洋——但是,使我们的湖泊森林受到酸雨威胁以及由于全球变暖而使我们的天气受到威胁的并不是核废物,而是化石燃料的废物,例如  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  和  $\text{CO}_2$ 。然而我们仍然需要将这些有关核电的事实转变为公众的意识和转变为能源政策的结论,例如转变为必须发展和利用先进核电系统的结论。

全球  $\text{CO}_2$  的排放——这在很大程度上与使用化石燃料有关——应当降低或至少稳定在 1990 年的水平上,这一点已广泛形成共识。然而如何通过一套能源政策来达到这一目标却意见纷纭。那些能源消耗量迅速增加的发展中国家肯定不会同意把他们的  $\text{CO}_2$  排放量冻结在目前的水平,而工业化国家要大幅度降低它们  $\text{CO}_2$  的排放量也将会存在一些严重困难。绿色运动告诉我们应当通过进一步提高能源效率,减少我们的用电量,以及更多地利用风力发电、太阳能发电、地热能 and 生物能来降低  $\text{CO}_2$  的排放。尽管能源效率是重要的并已获得公认,而且尽管也应当推进所谓替代能源,然而没有几个专家认为,这些办法在可预见的将来能对世界能源/环境问题提供一个可行的答案。例如我们知道,尽管日本是世界上能源利用最有效的国家,然而它却还不得不依靠大的核能比例来增加它的发电量。同时,我们也熟知在能源消耗方面巨大的差异,在 1991 年北美人均每年使用几乎相当于 7700 kg 石油;韩国人均消耗 2040 kg;中国人均 650 kg;印度人均使用仅相当于 310 kg。广大的能源消费者都在通过增加他们对能源的使用来改善他们的生活水平,这一点有谁能怀疑呢?

今天核电占世界初级能源供应份额大约在 5%,但它却提供了世界发电量的 17%,或相当于不到 40 年以前第一座核电站投入商

业运行时的世界总发电量。核电是在不产生酸雨或未造成全球变暖危害的情况下做到了这一点的。事实上可以很容易地通过计算得出，如果关闭掉世界 420 多座核电反应堆，而其发电代之以燃煤的火电，那么全球  $\text{CO}_2$  的总排放量大约要增加 8%。因此这就关系到新增的电量是依靠化石燃料还是依靠铀的问题。

当然，这些替代能源不仅要要从它们的环境影响而且还要从其或本、可靠性、能源独立性和安全性等方面进行比较。

就成本而言，燃煤的火力发电厂与以铀为燃料的电厂之间目前可能不存在非常大的差异。但是，核电厂的或本很多是用于建设前期，而煤电厂建造较为便宜。燃料却较贵。核电——一种新兴的技术——仍然有可能通过很多节约成本的创新措施来取得效益，然而对于传统的化石燃料燃烧技术来说，这一点就可能难以办到了。

就可靠性而言，化石燃料发电厂与核电厂之间也没有很大的差异。后者每次因某种原因停堆时都可能受到新闻媒体的关注。然而统计并未指出核电厂的利用率低于化石燃料发电厂。

工业化大国和正在工业化的国家和地区，如日本、中国台湾省和韩国，本土的能源资源都很缺乏，对初级能源——煤、石油、天然气或铀——的可靠供应很敏感。他们追求最佳的能源多元化配置以避免把他们的能源孤注一掷，核燃料较之化石燃料的优势在于，核燃料体积小，可以很容易地贮存几年的消耗量，从而使进口商得以彻底摆脱有时因石油和天然气供应问题而导致的困境。

三里岛核事故未曾有放射性物质排放到环境中，而在切尔诺贝利的核灾难中，造成了大量辐射和污染，这些事件都震惊了世界，成为很多人对核电心存疑虑的根源。然而必须把这些事故与煤矿的许多事故以及因水坝决堤或贮气罐爆炸而造成的灾难加以比较。能量的产生没有不冒某种风险的。然而很明显，公众对核事故的忍受力似乎小于其他事故。核工业必须面对这一事实，并且用一种全球实践的核安全文化，即让造成放射性向环境释放的事故趋于零作出响应。一国内和国际上都采取并且还在采取许多步骤以达到这一目标。

由俄罗斯联邦以及东欧和中欧的一些国家所作的现有努力也许是目前使核电安全提高标准和得以确保最为重要的活动。许多其他国家也都正在设法参与这种努力。的确如此,因为实现这种升级在很大程度上也符合他们的利益。

国际原子能机构正在起草一些国际核安全标准作为指导所有国家的准则并制定一项国际安全条约对所有国家进行某种规范,这些努力也是国际核安全文化的一部分。世界范围的核电正在成为一种重要的工业,它必须在公认的规范和条约的国际基本框架内发展,不仅涉及安全性,而且还涉及事故早期报警、应急措施、实体保护、以及损伤情况下涉及的责任。这一基本框架目前正在逐步出现。一项涉及核电安全的条约将有可能在 1994 年完成,而有关核废物安全处置条约方面的工作也将随后开始。

虽然核安全的监督仍然是国家性的一项任务,然而越来越多的国际专家咨询服务可通过国际原子能机构与核操作人员自己的组织——世界核操作者协会成为现实。这些服务同样可帮助把所有的核操作人员带入国际安全文化之中。

本次讨论会的确作出了假定,即今后存在对核电的持续需求,以满足世界范围内对电力日益增长的需要,为工业供热与住房供暖,以及有助于水的脱盐以满足很多干旱地区的淡水不足。该核方案必须保持公开,即使目前存在着只求反对,即让其萎缩的强烈趋向。

本次讨论会同样还作出了假定,即核技术也像其他一些技术那样持续发展。我们得益于我们过去的经验,同时我们也发现新的需求。事实上这次讨论会是我们可以交流我们的经验和讨论我们将来需求的一座论坛。没有理由认为先进核电系统就只包括那些吸取了 6500 多个堆-年积累的经验,目前已经存在或至少即将存在,并表明从设计到安全性、经济性都有改善的先进模式。我们还将在一个不太远的将来看到某些其他类型的先进反应堆,如增殖堆的出现,这些反应堆有可能在今后经济的铀资源没有今天那么丰富时用来进行最佳资源配置。未来的高温堆用以产生工业过程热,例如可生产像氢一类



的干净燃料；未来的较小反应堆操作更为简单，供发展中国家利用，并适用于更小的电网。

就设计和建造先进核电系统而言，虽然我们也许难以指望像我们在国际热核实验堆(ITER)那样有各国共同参与的项目，然而需要设计者、建造者、购买者和管理者就下一代核电厂开展国际性共同讨论的事情却会很多。

国际原子能机构——作为包含有很多对核电开展了广泛与日益增长应用的国家和反对这种选择的其他一些国家的一个国际组织——并不企图劝说各成员国集体地或个别地采用核电。这方面的决策完全属于主权国家的国内事务。该组织在这方面的工作是基于一个简单的前提，即核能事实上已在许多国家应用，另一些国家也在考虑引进核电，因而有必要在国家之间就如何进一步加强安全性、简化设计、运行简易化、可靠性和经济性等方而开展共同的讨论。本机构长期以来一直为共同讨论对未来的核电厂的需要和满足这种需求的途径问题提供了一个论坛。一份最近的国际原子能机构的文件，国际合作成果，阐述了发展先进核电厂的目标。正在制订的另一份国际原子能机构的文件是关于未来核电厂的安全原则。这次讨论会对进一步开展共同讨论是重要的。我向你们表达我最良好的祝愿。

我认为这次讨论会的会场可能没有比韩国更好的了，原因在于其经济的飞速发展，在于它对能源快速增长的需求以及在于它快速增长的核电反应堆。本次讨论会向东道国已经获得的成就致敬意，并为今后的成功表示良好的祝愿。

(郭永吉 译 吕延晓 审校)