

核电技术自主化与安全

徐济鳌, 曹学武, 翁史烈

(上海交通大学, 上海, 200030)

1 新世纪能源经济形势与我国发展核电产业的战略意义

1.1 新世纪我国的能源经济形势

我国人均能源资源并不富裕, 长远看能源是制约我国可持续发展的关键, 能源安全保障是确保国家经济安全的关键问题之一。按2020年我国GDP再翻两番的宏伟战略目标, 能源建设形势严峻, 电力需要超前发展。根据1981—2000年发展经验, GDP年均增长9.7%, 发电量年均增长7.9%, 电力消费弹性系数为0.8。据此推算, 2020年装机容量约达9.6亿kW。各部门的预测略有差别, 大体上在8亿~10亿kW之间, 以低位数8亿kW装机容量计, 2020年电力一次能源构成见表1。

表1 2020年电力装机容量构成

	2000年	2020年
装机容量(万kW)/百分比	31932/100	~80000/100
水电	7935/24.8	20000/25
煤电	23630/74.0	52000/65
核电	210/0.7	3200/4
天然气发电	96/0.3	4000/5
新能源	36/0.1	800/1

由表可见, 在国内生产总值翻两番目标牵引下, 水电、煤电都需成倍地发展, 而且核电装机容量增加到3200万~4000万kW。现已建成和在建共870万kW, 需再建设2330万~3130万kW核电, 即再建设百万千瓦级核电机组24~32套, 按每千瓦1500美元造价估算, 大约需要投资360亿~480亿美元。

1.2 新世纪国际核电发展形势

纵观世界电力工业与电源结构发展, 20世纪70年代的石油危机迫使西方工业化国家寻求能源品种多样化, 以保障能源安全。在此期间核电得到快速发展, 它与火电、水电一起成为当今世界电力结构的三大支柱。据最新统计, 全世界共有436台核电机组, 约3.5亿kW, 提供了世界约17%的电能, 核电几乎为工业化国家独占, 为西方工业国家提供了占其本国20%~75%的电能(如立陶宛占77.6%, 法国占77.1%, 比利时占58.0%, 韩国占39.3%, 日本占34.3%, 美国占20.4%)。国际上核电发展的一个非常值得注意的趋势是: 现有在役的机组均将在2025—2030年前后完成它的寿命周期, 进入更新换代。届时将提供约3500亿美元的国际核电市场。

1.3 核电发展对我国能源基地的合理布局有重要的战略意义

西部能源基地建设已确定了中长期煤、水、气的发展规划, 为全国特别是东部经济发达地区的持续发展提供了有力的支持。但目前全国的能源布局对能源纯输入的东部沿海经济发达地区, 存在着先天的、固有的结构性能源安全风险, 我国经济的持续发展期待着能源基地布局的合理化。核电在珠江口、长江口、渤海湾的发展, 再加上东部地区正在规划的煤电一体化建设, 新能源示范工程等因素的综合, 将会有力地推动东部能源基地的形成, 东西两大能源基地的相互沟通、相互支持, 对西部大开发、对东部地区的继续快速发展, 对整个国家的能源安全都有十分重要的战略意义。

综述
核电设计
工程管理
工程建设
运行维护
核安全
核电前期
核电论坛
核电经济
核电国产化
核电质量
核电信息

2 新时期要确立积极发展核电产业的战略方针

2.1 我国发展核电产业的基础

我国目前已建和在建核电机组共11台，装机容量为870万kW，并出口巴基斯坦30万kW压水堆核电厂一座，已形成基本配套的核动力与燃料循环开发工业体系，能自主设计建设并成套出口30万kW压水堆核电厂，基本实现60万kW压水堆核电厂的自主开发、设计和建造，建立了独立的核安全法规和审评体系，基本掌握了百万千瓦级压水堆核电厂主要部件的制造技术，具备本地化制造的装备条件和能力，并且已有了独立运作的6个核电厂业主，2个具备核蒸汽供应系统设计能力的研究设计院：上海核工程研究设计院和中国核动力研究设计院，2个具备核电厂工程总体设计能力的设计院：上海核工程研究设计院和北京核工程研究设计院，3个动力设备制造基地：上海、哈尔滨和四川，1个核岛工程试验基地：中国核动力研究设计院。因此核电技术自主化启动条件优于韩国、法国同期条件，差距是缺少国家的发展战略和核电中长期发展规划，缺少适于市场运作的核电产业体制、管理体系及经验，但已有条件组织2-3个工程设计公司（AE），奠定了“以我为主、中外合作”建设百万千瓦级压水堆核电厂的能力和条件。

2.2 “积极发展核电”走核电技术自主化的道路

今天，世界正处于先进核国家核工业发展的停滞期、兼并转型期，我国24套核电建设规划是当今世界最大核电买方市场的机遇期，也是中国核电技术赶超世界先进水平的关键转折期，应抓住历史机遇，确定“积极发展核电”走核电技术自主化道路的方针。在这一方针指导下，以“十二五”中具备核电技术自主化能力为近期目标，“十三五”末建成24套核电机组为中期目标，以具备先进核电技术参与竞争世界2025年后核电市场份额为总目标，制定“十一五”核电技术自主化重大工程的中长期总体发展规划，跨越式增强我国核战略独立性和先进性。

3 “核电技术自主化”技术路线

借鉴国际核电技术自主化经验，分析当今核电技术的发展趋势，我国的核电技术自主化应是一项融合自主设计、自主设备制造、自主营运、自主安全管理及同步发展相关研究与开发能力、人才培养等方面为一体的系统工程。自主设计是龙头，研究和开发是生命，人才是基础，产业结构和体制改革是关键环节。拟以2020年前的发展规划为一个整体，在国家统一领导下，“以我为主、中外合作”，不同范围、深度和方式选择国际合作伙伴，遵循起步高、花费少、风险小、见效快的技术决策原则，按核电需求建设时序，按照批量化建设、步进式技术升级、分阶段跨越式发展方针，分三阶段全面规划实现核电技术自主化工程总目标的建设纲目：

（1）第一阶段以“十一五”、“十二五”共建设和建成16台百万千瓦级压水堆机组为目标，通过建设以“第二代加”改进型压水堆为主力堆型一个系列，具备第二代改进型压水堆核电厂的技术自主化能力和条件；

（2）第二阶段以“十二五”末前后建设第三代革新型核能示范电厂为目标，通过研发一个系列，实现基本具备革新型核能系统研发条件和能力，完成在2020年建成和建设全部24台核电机组的中期目标；

（3）第三阶段“十二五”中末期启动第四代核能系统研究，具备加入国际研究第四代核能系统合作组织，研究第四代核能系统，为参与2025年后世界核电市场奠定物质条件和人才基础；

（4）核燃料需求立足于国内、以国际采购补充为原则，按2020年目标，制定配套的核燃料循环综合开发建设规划。

以上4个计划相互耦合、衔接，同时要界定为核电技术自主化总目标服务的设计、制造、建造、营运、安全管理、研究与开发、核电核心人才培养以及电力能源基地建设等各项任务，建设先进核电技术宏观综合发展体系及配套的核电核心人才培养体系，奠定研究开发与创新、参与国际先进核电技术市场竞争的物质基础和高技术人才资源库。

4 发展方案

按照核电技术自主化工程技术路线，走新型工业化道路，统一堆型。选择堆型的基本原则为：

- （1）安全、经济、先进、成熟、统一；
- （2）标准化、系列化、批量化建设；
- （3）步进式技术升级、分阶段跨越式发展、并行化开工建设；

(4) 需求牵引为第一原则。

按照起步高、花费少、风险小、见效快的技术决策思想，结合选择堆型基本原则，确定第二代改进为启动核电技术自主化重大工程的主力堆型作为起步，指定下述跨越式发展方案和配套的燃料保障条件。

(1) 跨越式发展方案

在“十五”期末开始建设6-8套“第二代改进”的先进压水堆系列，“十一五”计划初期制定并启动第三代核电系统的研究开发计划，末期建成8套第二代加的压水堆系统并制定“十二五”第二批8台的建造计划，力争“十二五”末建成第三代核电系统原型电厂，并同时实施参与国际第四代核能系统合作研究计划，规划“十三五”建造的8套核电系统计划与时序，力争“十三五”中建成若干套第三代核电系统，完成24套核电机组建设规划。

(2) 核燃料循环保障条件

按2020年目标的两种建设方案，核燃料需求立足国内为主、国际采购补充的原则制定配套的核燃料循环综合开发发展建设规划，应包括：燃料元件、浓缩铀、天然铀、铀资源、后处理及废物处理处置等的建设发展计划。

革新型核能系统代表了当代先进核电技术水平，原型电厂研发启动时间表示中国已具备了核电技术自主化创新研发能力，标志了中国核电技术赶超国际水平的关键转折点。

5 工程建设项目

能源多样化、能源安全、发展核电技术自主化应作为国家的基本能源政策。统一技术路线、统一堆型制定核电技术自主化中长期发展规划，启动“核电技术自主化重大工程”，应包括以下项目：

(1) 建设“第二代加”系列项目

满足电力需求供给市场为第一原则，安排24套机组商用时序建设规划。双机组百万千瓦级压水堆核电建设项目周期：前期工作两年，建设期5年，第二套投入商用再加一年，共约8年。

以“第二代加”为主力堆型，统一招标，按市场化方式建设。

(2) 第三代革新型系列项目研发建设

革新型核能系统代表了当代先进技术水平，需国家立项研究开发。建议示范电厂建在秦山，到“十二五”末时，秦山成为中国核电技术自主化历程的示范基地。为在“十一五”初启动革新型研发计划，建议以秦山基地相关设计研究院、动力设备制造基地为基础，联合全国相关研究单位在长江三角洲建立产学研结合的第三代革新型示范电厂工程研究发展中心，统筹该研发项目。

(3) 第四代核能系统项目研究

目前国际上建立了十国合作研究计划，需国家立项研究，奠定基础，加入国际合作研究开发网。建议在“十一五”中优先列入科技攻关计划、高科技发展计划、基础研究计划，提供政策和经费支持。

(4) 核燃料循环配套建设项目

核燃料元件、浓缩铀、天然铀、铀资源开发、后处理及废物处理处置等的建设项目。

(5) 核电产业建设工程

核电装备制造业、材料产业、仪表产业及配套设施、建筑业等产业改造规划。

(6) 电力基地工程建设

24套核电机组项目建设、电网建设、交通网络规划建设项目。

(7) 核安全法规及核安全保障建设工程

核安全法规建设，核安全保障网络工程建设，核安全监督管理建设项目。

(8) 核电核心人才资源库工程建设

为满足批量建设核电厂的需要，必须未雨绸缪，加速核心技术人才培养。

6 安全保障技术研究

核电的安全性是影响核电发展的主要因素。因此，核电的发展首先应该满足安全性，应该开展相关的安全保障技术的研究，并参照国际通用核电安全标准，结合核电技术发展趋势和国情修订完善我国的核电安全法规、导则和条例以及相关的行业标准规范和核电安全分析审评技术。应开展的安全技术研究为：

- (1) 核电厂安全设计研究；
- (2) 核电厂运行安全研究；
- (3) 核电厂严重事故分析和管理技术研究；
- (4) 核电厂放射性废物安全管理技术研究；
- (5) 核电厂安全分析审评技术研究；
- (6) 核电厂的核安全法规、导则和条例建设研究。

7 政策建议

在当今全球经济一体化和多极化的世界中，必须确保我国核战略独立性，紧紧抓住世界核电工业兼并重组机遇，进行核电技术自主化重大工程。

(1) 法律法规建设

尽快制定原子能法和中国的核安全法规。

(2) 核电产业发展国策

在政府扶植指导下，制定统一发展政策，拟定经国家批准的核电产业长期发展规划，列入国家能源政策。

(3) 大力调整核电经济结构，推进电力产业发展

在国家控制核燃料产业原则下，制定发展核电技术自主化政策，推动核电相关产业的体制改革。

(4) 引入竞争机制，深化核电产业结构改革

核岛自主化设计引入竞争机制，整合核电产业相关的核、机、电行业，改造核工业自身产业结构体系，制定中国的设备制造法规、标准和规范体系，发展核电技术自主化战略联盟。

(5) 推进电力市场化，价格规范化，投资多元化

在政府政策方针指导下，扶植核电产业发展，控制发电成本，提供与同期火电竞争力的安全、经济、先进、成熟的核能动力系统，电力价格科学化、规范化。

(6) 核安全管理独立性

建立符合国际规范的中国的核安全法规体系和管理体系。

(7) 统一技术路线、统一堆型

每种发电技术、每一种堆型各有优缺点。核电作为产业发展，应停止争论。为满足电力需求的时间

紧迫性，按国家制定的中长期规划及其技术路线统一行动。

(8) 世贸规则下的国际合作政策

世界核电产业正处于先进核电国家的核工业停滞、核电技术处于第二、三、四代转型发展时期，中国拥有当今最大的世界核电买方市场，在国家统一领导下，制定发展核电技术自主化国际合作政策与方针。

(9) 核电技术核心人才资源库及其培养教育体系

人才市场化威胁核电技术核心人才资源库及其培养教育体系，政府应扶植核电技术核心人才的教育培养体系，对核科学与技术教育进行创新改革，适应人才市场化发展。

8 结束语

我国已基本具备通过“以我为主，中外合作”设计制造运行百万千瓦级压水堆核电站的能力。我国24台核电机组建设规划的历史机遇是：世界最大卖方市场，世界核工业正处于发展停滞、兼并、转折期，也是中国核电技术发展的关键历史转折期。应“积极发展核电”，分三步走实现核电技术自主化。应加强安全保障技术的研究、人才的培养，以确保核电的安全。