

### 核电国产化研究

#### The Study of Nuclear Power Localization

许连义

(机械工业部, 北京 100823)

**摘要** 分析了我国目前所具备的百万千瓦级核电机组的设计和制造能力, 表明设备制造在价格和质量方面有竞争力。指出我国的核电体制应当进行改革才能适应核电的发展。

**关键词** 核电 国产化

**Abstract** This paper analyzes the present design and manufacturing capabilities of our country for 1000 MW class nuclear power plant, which shows the localized equipment manufacturing has the competitive advantages in cost and quality. It points out that the nuclear power system of our country should be reformed so as to be adapted to the development of nuclear power.

**Key words** Nuclear power Equipment localization

我国是拥有13亿人口的大国, 对能源需求量很大。从长远发展观点看, 仅靠水力和火力发电还远远满足不了国民经济发展和人民生活日益改善提高的要求, 所以必须开发新能源。核能发电作为一种安全清洁的新能源已被世界许多国家所接受, 它是继水、火电之后的一种技术最成熟、应用最广泛的新能源。许多发达国家已将核电作为本国的电力支柱之一, 一些发展中国家也在积极发展核电。因此, 发展核电对我国实施可持续发展战略, 解决能源短缺和环境污染问题已成为刻不容缓、势在必行的大事。

#### 1 发展我国核电的根本出路在于国产化

国产化也称本地化, 纵观世界各国核电发展的历史和道路无非有两种。

一种是像美国、前苏联和加拿大, 他们本国就对电力有极大的需求, 为了满足这种需求, 他们独立研究、开发, 不断发展完善, 形成了一套完整的技术和相应的工业生产体系。这些国家凭借其雄厚的经济实力和技术力量, 从研究开发、工程试验到建设运行, 从小型核电机组到中大型核电机组, 逐步发展并掌握了科研设计、设备制造、安装调试、运行管理等一系列关键技术, 培养了一批科技和管理人才, 他们不断地进行经验积累和反馈, 改进创新, 提高了核电站的安全性、可靠性和经济性, 在本国建造了相当数量的核电站, 而且还以成套机组出口, 他们在世界核电市场上占了可观的份额。

第二种是像德、法、日本等国, 他们为了节省大量的试验研究经费和时间, 并从高技术起点起步, 通过引进国外先进技术, 经过消化吸收, 不但掌握了引进的技术, 而且还通过自己的研究和改进, 在本国建造了一批核电站, 以满足本国电力的需求, 同时也向国外出口。西班牙、韩国、瑞典等国也是通过这种方法, 发展了本国的核电事业。

从以上主要国家发展核电走过的道路来看, 他们都是根据本国对能源的需求, 开发和建立自己的核工业体系, 发展核电事业。

核电投资巨大, 建设周期又长, 我国要依靠进口发展核电, 不仅存在资金问题, 而且昂贵的造价也是我们难以承受的, 这无疑是我国核电发展的障碍。只有实现核电设计自主化和设备国产化才有可能

综 述  
核 电 设 计  
工 程 管 理  
工 程 建 造  
运 行 维 护  
核 安 全  
核 电 前 期  
核 电 论 坛  
核 电 经 济  
核 电 国 产 化  
质 量 保 证  
核 电 信 息

减少核电站投资，降低发电成本，从而可与火电相竞争，使核电的发展进入良性循环。

大亚湾和岭澳4台百万千瓦级核电站的建成价约为80亿美元，若有50%的国产化份额，将给国内增加300多亿元人民币的产值，它不仅可带动国内工业和国民经济的发展，提高综合国力，也可为我国高科技发展和核电站的建设奠定坚实的基础。

核电国产化的内涵，应包括自主设计、自产设备、自主建造、自主运营四个方面。但四个自主的关键是自主设计，它是实现工程管理和设备采购的前提，只有掌握了系统和设备的设计，才能对设备提出切实可行的采购规格书，才能处理设备制造中产生的技术问题，才能有效地指导核电站的建造、安装、调试工作和处理建设过程中的技术问题，才能有效地提高核电站的运行管理和装换料等技术问题。所以在核电国产化中，自主设计是龙头。

## 2 我国已基本具备了百万千瓦级压水堆核电站的设计和设备制造能力

### 2.1 设计

从20世纪50年代起，我国便开始创建核技术队伍和试验研究基地，至今已形成了专业与学科门类齐全的一大批核技术力量和实验研究设施。我们曾自主地设计建造了石墨-水生产反应堆、核潜艇动力堆、高通量工程试验堆、低温供热堆、球床高温气冷发电实验堆，对外出口了重水实验堆，并开展了天然铀石墨气冷和重水堆核电站的设计研究工作。80年代初，在华东电力设计院和上海核工程研究设计院的合作下，又自行研究设计了秦山30万kW压水堆核电站，在通过运行经验反馈和改进后，又向巴基斯坦出口了恰西玛核电站，使我们在工程设计、管理、质量保证和标准规范等方面更趋于完善。秦山一期自1991年12月并网发电以来，至2001年12月，10年来已累计发电168亿kWh，平均负荷因子64%，其中1996年发电量为22.3亿kWh，负荷因子达84.7%，可用率86.4%，达到了国际上核电站年度运行的先进水平。但它毕竟是原型堆，在流致振动方面考虑欠周，因此产生中子通量测量管断裂，导致停堆检修，不过此问题已在恰西玛核电站中得到修正，使我们的设计水平又提高了一步。90年代初，以广东大亚湾核电站为参考，引进了法马通核岛设计软件，开始以我为主，设计建造了秦山二期两台60万kW压水堆核电站。可以说，我们已基本掌握了60万kW压水堆核电站的设计，但还要进一步消化吸收和配置有关的软件，如失水事故的最佳估算程序，先进的热工水力程序等。

至于百万千瓦级压水堆核电站的设计，虽然广东电力研究设计院和北京核工程研究设计院（核二院）都部分地参加过岭澳核电站的设计，也引进了核岛设计软件，但毕竟自己还未实践过，所以国内要设计百万千瓦级压水堆核电站，还要与国外合作，补充引进必要的设计和制造技术，以期逐步掌握和提高自主设计能力。

### 2.2 制造

相对于设计而言，我国的制造能力则比设计能力强得多，特别是国有大型企业，经过几个五年计划的发展以及对一些火电、水电等重点工程的技术改造和技术引进，装备水平和制造能力有了很大的提高。根据国家颁布的《民用核承压设备监督管理规定》及其实施细则，国家核安全局和企业主管部门对承制核电设备企业的装备、技术、经验、管理和质保体系等方面进行严格地评审和核查后，已给国内四十多家企业颁发了百万千瓦级压水堆核电站核承压设备制造资格许可证。

(1) 80年代初，我国便自行设计建造了秦山一期核电站工程，在十五项主设备中，除了反应堆压力壳、主泵、堆芯吊兰筒体等五项设备从国外进口外，其余皆由国内生产提供，设备国产化率占70%，在我国出口到巴基斯坦的30万kW压水堆核电站中，国内生产提供的设备占95%以上。

(2) 秦山二期60万kW压水堆核电站原本是国产化项目，但因国内资金不足，不得不利用国外卖方贷款购买国外设备，然后我方再从外国公司手里分包部分设备在国内生产。即使这样，在秦山二期1号机组中的设备国产化率占50%，2号机占60%，平均为56%，而且国内企业参与了核岛和常规岛关键主设备的制造，如反应堆压力壳，1号机由日本三菱公司提供，2号机则由上海锅炉厂生产；4台蒸汽发生器中，两台半由美国原西屋公司安排在西班牙的安萨公司生产，一台半由上海锅炉厂生产；2台稳压器则分别由西安核设备有限公司（核工业524厂）和上海锅炉厂各生产1台；524厂还生产了硼注箱，安注箱等核承压设备和支撑结构。控制棒驱动机构、堆内构件、装卸料机则分别由上海先锋电机厂、上海第一机床厂、上海起重运输机械厂制造完成。常规岛的汽轮机和发电机是哈尔滨汽轮机厂和哈尔滨电机厂在引进60万kW火电机组技术基础上，继续与西屋公司合作，利用西屋公司技术设计制造完成的。冷凝器和高、低压加热器由上海电站辅机厂制造。主变压器由保定变压器厂完成。核电站的控制保护系统、仪器仪表、计算机监控系统、核辐射检测仪表等皆由国内的上海自动化仪器仪表公司、四川仪器仪表公司、电子部北京和利时公司以及中核总的261、262厂等提供。1号机组已于2001年12月28日达到临界，2002年3月底实现满功率，在进行了一系列试验工作之后，于2002年4月17日通过了168小时连续满功率发电运行验收。

(3) 对百万千瓦级压水堆核电主设备国产能力的评估

--反应堆压力容器：中国第一重型机械集团公司（一重）和第二重型机械集团公司（二重）都曾经冶炼、锻造和加工过核压力容器用钢，而且一重和上海锅炉厂曾分别为恰西玛和秦山核电站提供过反应堆压力容器，有一定的制造经验。虽然百万千瓦与60万kW反应堆压力容器的制造工艺大同小异，但毕竟还未制造过，如果能在外方的技术支持与合作下完成制造，业主将更加放心，国产化率可达50%左右。

--堆内构件：上海第一机床厂为秦山一、二期和恰西玛核电站提供了堆内构件，还和法国法马通公司合作生产了岭澳核电站1000 MW反应堆堆内构件，从工厂的加工装备和技术水平看，可以制造和总装百万千瓦级核电站的堆内构件，国产化率在80%以上。

--蒸汽发生器：东方锅炉厂（东锅）、上海锅炉厂都分别为岭澳、秦山核电站制造过蒸汽发生器，国产化率约为70%。哈尔滨锅炉厂（哈锅）也可生产。

--稳压器：上海锅炉厂和核工业524厂已为秦山二期制造过稳压器，其国产化率可达90%，东锅、哈锅厂也有能力生产。

--控制棒驱动机构：上海先锋电机厂已为秦山一期、秦山二期、恰西玛核电站提供了控制棒驱动机构，也为岭澳核电站分包了部分部套。在百万千瓦级核电站中国国产化率可达90%以上。

--主泵：沈阳水泵厂具有百万千瓦级核电站主泵的加工装备和热态试验回路，曾与外商及哈尔滨电机厂合作，设计制造了恰西玛核电站的主泵。但设计制造百万千瓦级核电站主泵还需与国外合作，国产化率在50%左右。

--主管道：四川化工机械厂70年代即开发了不锈钢离心铸造技术，已为岭澳核电站提供了一段直管和弯管，完全具备了核电主管道的制造能力。另外，上海大隆机器厂也可生产弯管。

--环型吊车：大连起重机厂已为恰西玛核电站提供了环型吊车，基本掌握了大型环吊的设计制造技术，国产化率约为70%。

--装卸料机构：上海起重运输机械厂和核二院共同合作建立了装卸料机的试验台架，并为秦山二期研制提供了成套装备。在此基础上，进一步开发百万千瓦级核电站装卸料机构应是不成问题的。国产化率在80%以上。

--汽轮机和汽轮发电机：我国有能力制造大型核电汽轮机和发电机的厂家有上海、哈尔滨和东方集团的汽轮机厂和电机厂，他们曾分别为秦山一、二期和岭澳核电站生产和合作制造了30万、60万、100万kW核电站汽轮机和发电机。由于上海汽轮机厂和电机厂已与西门子公司合资，对方可以提供全转速和半转速汽轮机和发电机的设计制造技术。东方汽轮机和电机厂在岭澳核电站中分包了汽轮机和发电机的静子部分，并正在接受阿尔斯通公司核电汽轮机和发电机的技术转让。他们通过消化吸收是可以掌握其设计制造技术的，初期国产化率在60%左右。

--辅机：上海电站辅机厂、上海汽轮机厂、杭州锅炉厂、哈尔滨锅炉厂等都曾为秦山、岭澳核电站提供过高压加热器、低压加热器、冷凝器、汽水分离再热器等，国产化率在80%以上。

--对于其它通用设备和控制仪表系统等，我国也有一定的设计制造能力。

由此可见，国内已基本具备了百万千瓦级压水堆核电设备的制造能力。

这里应该提出的是，国产化并不是什么都要国产。我们国产化的前提是：设备质量一定要符合技术规范要求，价格具有竞争能力。特别是我国加入世贸组织后，国际采购就更加方便。对制造技术难度大、数量少、国内生产又不经济的设备和部件，如稳压器上的喷淋阀、主泵密封、安全阀等，就不一定在国内生产，可以从国外进口。即便有些设备国内能生产，但价格可能比国外贵，这样业主从国外进口，也是合乎情理的。所以核电设备国产化也要实事求是地按照市场规律和竞争机制办事，谁的设备质量好、便宜就买谁的，以保证业主的利益。不过总的来讲，自己国家制造的设备一般比进口要便宜、划算，否则，美、英、法、德、日等国为什么要自己发展核电事业而不是靠进口解决电力问题呢？当然对少数国家和地区，他们自己的工业能力有限，而且对能源需求不大，自己搞国产化不一定划算，倒不如进口几套电力装备满足需要就行了。但这不能认为是一种能持续发展的道路，要保持持续发展，就必须走国产化道路。

### 3 实践证明我国国产核电设备在质量和价格上具有一定的竞争能力

秦山二期是以我为主、中外合作的核电站项目，总投资为148亿元人民币，每千瓦建成价不高于1500美元，只相当于大亚湾、岭澳核电站的3/4。因为我们还未完全掌握自主设计，所以反应堆压力壳，堆内构件和蒸汽发生器都是在外商设计制造中标的情况下，又将部分设备返包给国内制造的。同样，岭澳核

电站也是如此。显而易见，我方制造的设备肯定比在国外采购便宜。事实上，在秦山二期和岭澳核电站中，外商在我国采购的设备价格只相当于国外价格的一半，有的甚至更低。如法马通公司分包给东方锅炉厂的蒸汽发生器，硼注箱，安注箱等设备在法国采购近5000万法郎，而在东锅厂分包，只花了1500万法郎。清华高温气冷实验堆核电站中的氦气鼓风机，向法国采购要价300万美元，清华由于资金紧缺无力进口，只好在国内采购。上海鼓风机厂接受了设计制造工作，并从瑞典和日本进口了高温轴承和高温润滑油，满足了氦风机的高温运行性能要求，售价仅为250万元人民币，只是法国价格的1/10。

在国产化设备质量方面，秦山和岭澳核电站都是严格按ASME、RCC标准来进行制造和验收的，而且在制造过程中，有法国专家、业主和业主代理苏州热工所在现场监造，设备的质量是靠得住的，有的甚至比国外还好。如上海理工大学工厂制造的蒸汽发生器隔板，其质量和精度远超过进口的。由核一院和上海先锋电机厂为秦山二期研制的控制棒驱动机构，经860万步运行考验后，仍完好无损，大大超过了其运行寿命。

但也应该指出，我国企业在核安全文化意识和管理方面，还与世界先进国家存在一定差距，今后还必须深化改革，建立一套完整的核质保体系，并付诸有效地实施，以保证我国核电国产化的顺利发展。

#### 4 发展核电必须改革核电管理体制

核电在我国还是起步阶段，由于引进技术、消化吸收和研究开发，起始造价是较高的。因而在20年的还本付息期间，其发电成本也是高的。按照国家关于厂网分开，竞价上网的电力改革政策，当前核电暂时是无法与水、火电相竞争的。这样，即使核电国产化后，也无法独立生存和发展，为此还必须进行核电管理体制的改革。不管是水电、火电、还是核电，它们的属性都是电。国际上绝大多数国家的电力公司都同时经营着水电、火电和核电，利用它们之间的特点进行优势互补。为了保证我国核电的顺利发展，也应将核电纳入电力公司的经营管理之中，开始以水、火电的低成本来平抑核电的高电价，以带动核电的发展。由于核电站的运行寿期较长，新建核电站的寿期可达60年，在20年还本付息期后，其电价是相当便宜的。如大亚湾核电站前20年的平均还本付息电价为每千瓦时6美分左右，而后20年（还本付息后）的预计电价也只有2美分，远远低于火电，这样水、火、核电之间实行优势互补，对我国发展电力事业，解决对能源的长远需求是非常有利的。