

核动力增长速率预测及其发展趋势

“新一代”反应堆设计是已有经验和今日需求的反映

B. Semenov, P. Dastidar, J. Kupitz 和 A. Goodjohn

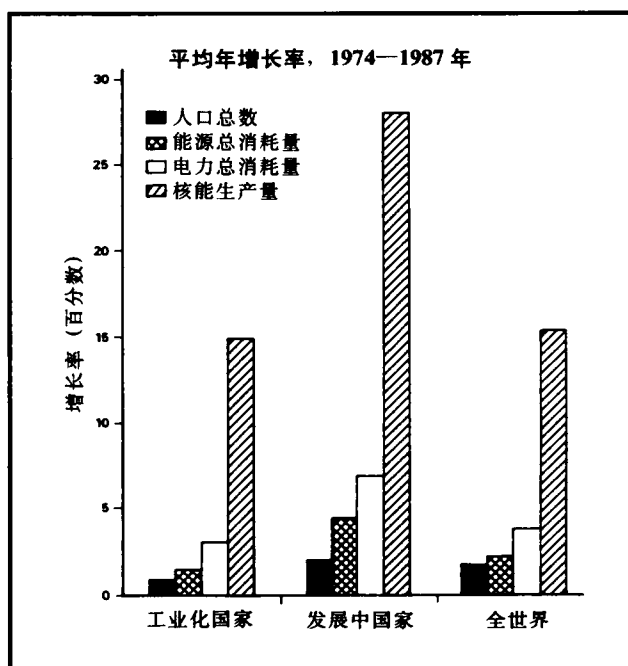
世界人口在过去的三分之一世纪中翻了将近一番，并在继续增加。在这个时期中，世界能源消耗量增加得更快，翻了两番多。在过去 15 年中，能源消耗量的增长率比人口增长率快的这种状况，发展中国家比工业化国家更为突出。（见附图。）这种情况清楚地表明，当他们为大踏步改善国家和人民的福利而努力时，一开始的发展往往要求大大增加能源的人均占有量。

就工业化国家而言，直到 70 年代初期发生“石油危机”以前，能源需求的增长大于按比例增长的情况也是明显的。自那以后，特别在大量依赖进口石油的那些国家中，节能意识已变成一种生活习惯，使能源消耗量的增长率逐年变小，而在某些国家中，甚至发生了能源消耗量逐年下降的情况。当然，总的来说仍然是增加的趋势，并且预计会继续增加。

还可看出另一些重要的事实。在工业化国家和发展中国家中，电力总消耗量的增长率都一直明显地是正值，不受任何能源危机的影响，而且增长率的增量在数值上总是大于能源消耗量本身的相应值。过去 15 年中，发展中国家在这方面的增加速率约为 7%/年，而工业化国家约为 3%/年。在 70 年代初的石油危机时期以前，后者的数值也曾约为 7%/年。如果世界范围内电力消耗量增加的这些趋势继续象预期的那样发展下去，则可用于发电的常规能

源资源，即水力和化石燃料资源，将很快枯竭。况且，化石燃料（煤、石油和天然气）本来有数不清的其他更独特的用途，现在却被烧掉，用于提供全世界几乎三分之二的电力，而且日益加重了人们对环境污染的担心。

为此，需要寻找各种非化石的能源资源，而核能源系统正是一种选择。实际上，就最近的未来而言，在所谓的软技术即费用低效率高的光电池技术，或核聚变系统的最终成功取得突破性进展之前，只有核裂变能源和化石燃料（主要是煤）能够被认为是切实可行的可供选择的方案。



Semenov 先生是 IAEA 主管核能和安全司的副总干事；Dastidar 先生是 IAEA 核动力处处长；Kupitz 先生是该处高级职员；Goodjohn 先生是该处顾问。

特 写

世界核动力现状 (截至 1988 年 12 月 31 日)

	正在运行		正在建造		截至 1988 年 12 月 31 日 的总运行经验	1988 年由核动力堆 供应的电力	
	机组数	净装机总容量 (MWe)	机组数	净装机总容量 (MWe)	年—月	太瓦·小时	占总发电量的 百分数
阿根廷	2	935	1	692	20—7	5.1	11.2
比利时	7	5 480			86—7	40.6	65.5
巴西	1	626	1	1 245	6—9	0.6	0.3
保加利亚	5	2 585	2	1 906	43—8	16.0	35.6
加拿大	18	12 185	4	3 524	206—0	78.2	16.0
中国			3	2 148			
古巴			2	816			
捷克斯洛伐克	8	3 264	8	5 120	44—1	21.7	26.7
芬兰	4	2 310			39—4	18.4	36.0
法国	55	52 588	9	12 245	488—1	260.2	69.9
德意志民主共和国	5	1 694	6	3 432	72—5	10.9 *	9.9
德意志联邦共和国	23	21 491	2	1 520	279—3	137.8	34.0
匈牙利	4	1 645			14—2	12.6	48.9
印度	6	1 154	8	1 760	72—8	5.4	3.0
伊朗伊斯兰共和国			2	2 392			
意大利	2	1 120			77—10		
日本	38	28 253	12	10 931	394—0	167.8 *	23.4
大韩民国	8	6 270	1	900	36—4	38.0	46.9
墨西哥			2	1 308			
荷兰	2	508			35—9	3.5	5.3
巴基斯坦	1	125			17—3	0.2	0.6
波兰			2	880			
罗马尼亚			5	3 300			
南非	2	1 842			8—3	10.5	7.3
西班牙	10	7 519			82—7	48.3	36.1
瑞典	12	9 693			135—2	66.3	46.9
瑞士	5	2 952			68—10	21.5	37.4
中国台湾	6	4 924			44—1	29.3 *	41.0 *
联合王国	40	11 921	2	1 833	810—10	55.5	19.3
美利坚合众国	108	95 273	7	7 689	1261—10	526.9	19.5
苏维埃社会主义共和国联盟	56	33 833	26	21 230	687—2	215.7	12.6
南斯拉夫	1	632			7—3	3.9	5.2
世界总计	429	310 812	105	84 871	5040—9	1794.4	

* 估计值。来源：IAEA PRIS。

核动力的现状

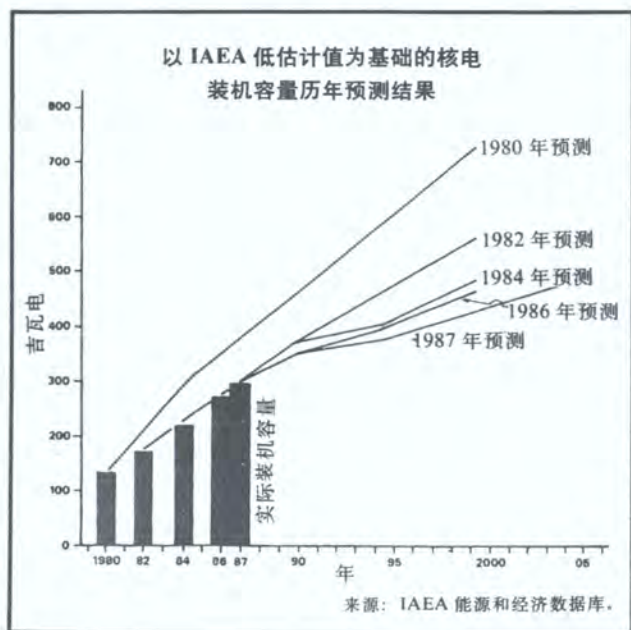
尽管人们目前有种种担心，但在 1988 年，核动力在满足世界日益增长的电力需求方面继续取得了巨大进展。这一点在截至 1988 年底，全世界正在运行和正在建造的核动力厂一览表（见附表）中得到了反映。这个表是依据提供给国际原子能机构动力堆情报系统（PRIS）的数据编制的。

1988 年，8 个国家的 14 座新动力堆投入运行，使全世界正在运行的核电机组总数增至 429 套。截至 1988 年年底，26 个国家有了发电用的核动力厂。1988 年，世界核电总装机容量增加了约 12 吉瓦电

(GWe)，使总装机容量超过 310 GWe。

1988 年，使新动力堆并网发电的国家有：法国（2）、日本（2）、德意志联邦共和国（2）、大韩民国（1）、西班牙（1）、联合王国（3）、美国（2）和苏联（1）。在 26 个有核电的国家中，核发电量占总发电量 1/3 以上的国家有 11 个。总起来说，将近 1800 太瓦小时（TWh）的发电量，或者说 1988 年世界总发电量的 17% 或 1/6 左右，是由 429 座动力堆提供的。为了便于比较，可以指出，这个数字约等于 1957 年全世界所有来源的总发电量。

在过去 15 年中，核电的增长一直很快。尽管工业化国家中的电力消耗量的增长率在这一时期是



3% / 年, 但核电所占份额的增长率, 则是 15% / 年。发展中国家在此期间的电力消耗量增长得更快, 达到 6.9% / 年, 而其核电所占份额的增长率则达到了 28% / 年。当然, 使人感兴趣的是世界上所有属于上述第二类的国家。在这些国家中, 电气化及与此相关的种种便利日益为人们所认识, 导致电力消耗量的增长率超过总的能源消耗量增长率, 而这些国家的核动力尚有待开发。

未来的预测。 预测未来的核电增长情况, 已经成为一项非常困难的任务。过去的经历预示不了未来, 当然不是指最近的未来。前面已经列举的原因, 不但使工业化国家的电力消耗量增长率在过去 10 年或更长时间内一直比较低, 这导致先前计划好的扩充装机容量事宜被取消或推迟; 而且使人们普遍产生了对核电的不安情绪, 更严重地影响了核电的相应增长速率。从全球的角度看, 实际增长量也一贯低于历次的预测结果。(见附图。) 尽管最近的预测与实际的差异一直在缩小, 但对 2000 年这一年的核电装机容量的预测值一直在不断下降, 这是相当明显的。1987 年所做的关于 2000 年核电装机容量的预测结果, 比 1980 年的预测结果低 300 GWe。核电开发是一个长期而连续的过程, 其中包括规划、许可证审批、建造和启动等过程。尽管建造或许可证审批工作的延迟或政策上的改变, 可以产生一定的影响, 但近期内 (直

到本世纪末下世纪初), 核电装机容量增加量的大小仍将主要取决于过去的决策。相比之下, 2000 年以后的形势就不大好预测。

我们根据国际原子能机构 (IAEA) 1987 年给出的低估值, 估算了工业化国家和发展中国家直到 2005 年的核电装机容量计划增长量, 和核电在发电总装机容量中所占的份额。(见第 9 页附图。) 核电装机容量将从 1987 年的 298 GWe 增加到 2005 年的 503 GWe, 这一时期的相应年平均增长率为 3%, 增幅为 205 GWe。

在增加的这部分容量中, 工业化国家的核电装机容量预计将增加 153 GWe, 相应的年平均增长率约为 2.5%, 或者说非常接近电力消耗量的年平均增长率的预测值。换句话说, 由于人们对核能的种种担心, 加上人所共知的 70 年代初期对电力消耗增长量的过分乐观的估计, 现在已使核电在未来电力增长率中所占份额的计划值, 差不多等于发电总装机容量的增长率。实际上, 从 1995 年开始, 预计工业化国家的核电装机容量平均都会达到占发电总装机容量的 15%, 并将在这个预测时期的其余时间里保持在这个水平上。由于核电厂多半用于满足基本负荷, 预计它们在 1995—2005 年期间发出的电力, 会占到电力总消耗量的 23% 左右。

在同一时期内, 发展中国家的核电装机容量预计到 2005 年达到 72 GWe, 相当于核电装机容量增长 51 GWe, 其年平均增长率为 7.1%。与工业化国家不同的是, 预计发展中国家的核电装机容量在总发电装机容量中所占的份额将愈来愈大, 到 2005 年将达到 5.3%。这样, 正如图中所表明的, 2005 年以前, 全世界新投入商业运行的核电装机容量中, 预计 25% 将在发展中国家。

到 2005 年, 世界核电装机容量在发电总装机容量中所占的份额, 预计将达到 12% 左右, 虽然大大低于 10 年前的预测结果, 但从目前的形势和趋势来看却是合理的。令人不安的是, 为了满足最近几次预测中给出的电力总需求数字, 化石燃料 (主要是煤) 发电到 2005 年时不得不增加约 0.8 倍。从环境保护的角度看, 这是一种不利的趋势。这样一来, 1988 年多伦多会议提出的要求, 即把 CO₂ 的排放量减少到目前水平的 80%, 多半是实现不了。

从过去经验中得到的教训。 为了使核电能在整个工业化国家的新发电装机容量中重新占据愈来愈大

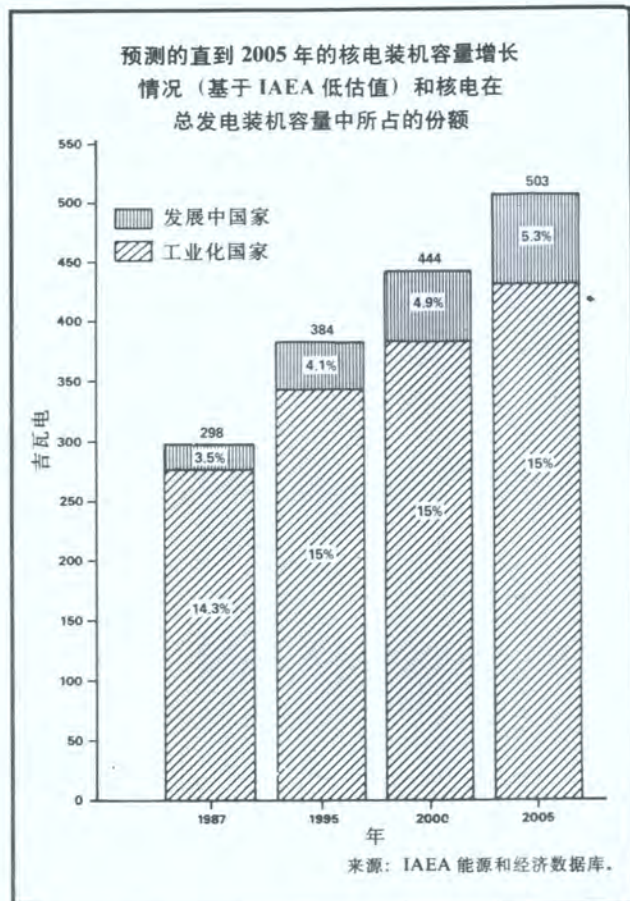
的份额；为了能在发展中国家中保持并最好是增加核电的增长速率；还为了能给几个新国家创造引入核电的条件；我们必须高度重视从过去经验中得到的教训。

三里岛和切尔诺贝利两起核电厂事故在这方面具有特殊意义。这两起事故，曾使有核电厂在运行的所有国家重新仔细检查了他们自己的核电厂的基本安全特性。前一起事故，尽管给公众带来的后果比较小，却导致了几项改进，进一步提高了核电技术的安全性和可靠性。这个事故还揭示出，仪器仪表有可能导致对反应堆系统的状况作出错误判断的结果，操纵员的培训也不够，不能正确解释所遇到的异常事故。于是对一些模拟器作了改进，对操纵员进行更严格的培训，包括接受模拟一些异常现象的培训。此外，仪器仪表本身有了改进，呈现在操纵员面前的是组织得更好的信息。这个课题通常称为人机衔接，现仍在不断发展之中。切尔诺贝利事故确实曾给公众带来严重的影响，并且具有相当大的国际意义。切尔诺贝利事故已经促使苏联对其核计划及今后将要建造的核电厂的类型，进行了一次极为彻底的重新评价。

尽管这两起事故给公众带来的影响不同，但确实都引起了巨大的投资和经济损失，还有大量的去污费用。这个教训清楚地提醒我们，要更加注意未来核电厂的投资和经济风险的保护。

核电厂的可靠性和与此密切相关的电厂可利用率——它显示核电厂每年可用来提供电力的时间百分率——也都是需要今后考虑的关键因素。实际上，在过去 10 年中，可利用率方面的改进是显著的。1977 年，向 IAEA 动力堆情报系统报告的 137 套核动力堆机组的平均可利用率仅为 64.7%；1982 年，核反应堆机组数虽已增加到 200，但平均可利用率仍然保持在 65% 左右——这是一个曾引起人们关切的数字。到 1987 年，346 套核动力堆机组的平均可利用率提高到了 71.4%。更值得注意的是，这些核动力堆机组中有 42% 的能源可利用率在 1987 年达到了大于或等于 80%。当然，还需要努力工作，使这种改进势头持续发展下去。

相应地，通过概率安全研究——在这些研究中，利用部件和系统的失效概率来计算一系列失效的总概率——已经找出了安全链中的许多薄弱环节，并已采取措施提高总体的安全性。对于人因故障问题也已经用类似的技术作过分析。其结果是要求触发核电厂安



全系统的次数已经大为减少。

另一个因素是机组的规模。根据过去的经验，它已成为指导今后发展的一个关键因素。高度工业化国家考虑到核电厂投资密集的特点，大多趋向于开发愈来愈大的机组。以便实现降低单位输出功率投资费用的承诺。这样的外推不仅导致了所需的部件、测试设备和控制设备的数目增加，而且对运行和维修能力提出了更高的要求，使事情愈来愈复杂。使各种系统简化不仅能够运行和维修方面减少人因故障从而提高安全性，而且能降低投资费用。某些设计人员相信，在规模较小的核电机组中，能够有效地实现系统简化、固有的高质量、更多地依靠有利安全的自然过程和合适的经济指标。从未来在许多发展中国家中应用的可能性，和具有满足某些工业化国家负荷增长明显较低的模式灵活性的角度来看，有一点正在变得愈来愈清楚，即存在着一个较小型核电机组的市场。IAEA 于 1983 年开始进行的中小型动力堆 (SMPR) 研究提供了这样的证据。

能够促进未来开发 SMPR 的另一个与规模有关

的因素，是未来对仅仅供热用核动力的潜在应用，即用于商业和居民的低温集中供热，或提供温度较高的工艺用蒸汽和热力。由于人们担心，在这些应用中如继续燃烧化石燃料会释放温室气体，因而在不久的将来对核热的需求也许会加快。这种系统的市场要求反应堆具有较小的功率，以便与供热范围较小的网络相适应。

保证获得成功的框架。未来核动力的大厦将建立在过去的核动力经验所搭起的框架之上。这种大厦很可能有许多组成部分：

- 满足工业化国家需要的大型核电机组。这些国家的电力负荷、负荷增长率和配电系统，使得大型核电机组成为合理的选择；

- 小型和中型核电机组，这些核电机组适用于与上述情况相反的那些地方，以及不只是发电的用途；

- 不管核电机组的规模如何，都要更多地注意安全问題，同时更加重视加长采取安全行动方面的宽限期、更多地重视非能动特性，和人在必要时尤其是在混乱状态下控制和管理形势的能力；此外，核电机组必须设计得具有充分的运行裕量，以便很少需要各种安全系统发挥作用；注意避免投资风险也可看作特点之一；

- 标准化程度更高和更简单的核电机组。它们将为改善施工进度、更好的经济性、更高的可靠性、更简单的操作、更好的人机衔接、服务工作集中化、加强国际交流和全面改善理解创造条件；此外，还应该有一套运行自如的安全管理机制，既能迅速作出响应，又不丧失有效性；

- 资源利用方面的改进、燃料循环确实实现闭合和高效率的废物处理办法。

为了不使这个框架自生自灭，每套机组和每项活动都必须始终“力争优秀”。这一口号已经变成努力复兴核电增长势头的一个起关键作用的口号。

核动力的发展趋势

不仅早已拥有发达的核动力基础设施的那些国家的政府和工业实体，而且正在认真考虑扩大或着手引入核动力的国家，都在更加注视着这个新的框架。各种反应堆概念的发展趋势，都在清楚地反映出过去的经验和未来框架的影响。

轻水堆。目前的轻水堆(LWR)技术已经被证明是经济、安全和可靠的。大多数工业化国家继续开发输出功率超过900兆瓦电(MWe)的大型机组，把它作为90年代的先进LWR(ALWR)。这些ALWR设计来源于堆型的不断更新和逐渐改进概念。例如，法国正在建造的N4型电厂(1400 MWe)，就是直接由标准化的P4系列厂(1300 MWe)演化而来的，结果是每千瓦装机容量的造价比P4系列下降了5%。德意志联邦共和国的一些“Convoy”核电厂，各有3座功率为1300 MWe的标准压水堆。Convoy核电厂的先进之处，主要在与核电厂建造有关的工程管理和项目管理方面。苏联的VVER-1800的设计工作已经开始。这是VVER-1000的一种改进型，在安全性和经济性方面有许多改进。再如西屋-三菱公司的先进压水堆(APWR-1350 MWe)、英国“塞士威尔-B”的PWR(1250 MWe)、燃烧工程公司的“80系统Plus”(3800 MWth)和通用电气-日立-东芝公司的先进沸水堆(ABWR-1360 MWe)，都是大型ALWR的实例。这些先进系统的先进之处在于，技术和运行程序上有许多改进、燃料性能更好和燃烧更深、由于使用计算机和改进了的信息显示设备而使人机衔接更好、电厂的标准化程度更高、操纵员的质量和模拟器的培训更好。其结果表现在可利用率节节上升和安全系统发挥作用的机会较少。

正在由电力研究所和能源部共同组织实施的美国计划，是沿另一途径进行渐进性发展的一个实例。目前已汇编出一套包罗万象的用户要求，并准备在工业界参与下，用3年的时间搞出满足这些要求的ALWR概念设计。对大型堆和较小型堆(功率输出小于600 MWe)都在进行考虑，较小机组重视使用非能动的安全设施。如何从许可证审批主管部门获得设计批准书，是这个计划的一个重要思想，人们期望着这些机组能在90年代大量供应而无须预先验证。AP-600(先进非能动600 MWe)压水堆、SBWR(简化沸水堆)和SIR(安全一体化反应堆)压水堆，都是重视加强非动力力安全性的小型ALWR。SIR是由美国的燃烧工程公司和斯通·韦伯斯特公司，以及联合王国的罗尔斯·罗伊斯公司和原子能管理局共同开发的。

PIUS反应堆(ABB-原子公司)和ISER反应堆(东京大学)的开发者们，正在采取一种更为激进的方针。这些反应堆都基于这样一条原理，即发生事故

后关闭反应堆和给堆芯提供连续冷却以导出衰变热的能力，应该完全是非能动的。这些反应堆的设计有几项独特之处：它们的运行完全是非能动的，因而不要操纵员采取任何行动；它们的动作是建立在一些无可辩驳的物理原理之上的。这些设计包括了沸水堆和压水堆两种概念，并且大多是小型堆。它们中有许多，尚处于概念设计的初期阶段；并且为了证实所用的原理，很可能需要建造验证性核电厂。因此，这些概念似乎离商业化更远。

大规模部署增殖堆的问题，主要出于成本方面的考虑而明显推迟。因此，提高铀资源的利用率，已经成为渐进地发展 LWR 的另一个目标。只要对现有的水堆作一些相对说来不大的改进，就有可能为改进铀资源的利用提供一些诱人的方案。这些改进可能从铀的返回利用，直到旨在显著改善燃料利用率的新堆芯设计。其中的有些改进看来经济风险不大，而且容易迅速地被采用。技术和经济上的可靠性和安全性，预计不久就会从美国、日本、德意志联邦共和国，特别是法国等国正在进行的证实性研究和开发工作中得到确认。这样的修改如果被证明是令人满意的，其中的许多便可能在今后 3—5 年内应用于现有的反应堆。

重水堆。目前已开发出了两种类型的商用加压重水冷却反应堆（HWR），即压力管型和压力容器型重水堆。两者的成功，已在几个国家的商业应用中得到充分证明。输出功率的范围从略大于 100 MWe 到 900 MWe 不等。大多数重水堆的寿期容量因子，一直居各种商用反应堆型之首。安全性能也被证明是很好的。重水慢化作用固有的中子经济性，使燃料费用较低的诺言已经兑现。这种固有的中子经济性为利用低浓缩铀、利用后处理收回的 LWR 铀（在 LWR 和 HWR 之间架起桥梁）、铀的返回利用和钍的高转化等，多种燃料循环方式提供了光明的前景；这些循环中的大多数正在加拿大等地进行研究，是一项延伸性开发计划的一部分。

这项有关 HWR 的延伸性设计开发计划的主要目的，在于降低核电厂的各项费用，并且渐进地增强核电厂的运行性能和安全性。这些设计包括印度的几座 500 MWe 反应堆；加拿大的几种设计，包括 480 MWe 的 Candu-3 和 800 MWe 的 Candu-6 2 型；和正由阿根廷一家工程公司和德意志联邦共和国西门子公司共同开发的 380 MWe 阿尔戈

斯（Argos）堆。

气冷堆。随着汉沙姆-2 和托内斯两个核电站的完成，由联合王国开辟的改进型气冷堆（AGR）计划，似乎已告结。这种二氧化碳冷却系统的进一步开发工作，将集中于改善现有机组的运行性能，和开展延长寿期的研究。

温度更高的氦冷气冷堆（HTGR）的开发工作，正在美国、德意志联邦共和国、苏联和日本进行。这种开发工作大多集中于单堆输出功率为 80 MWe 到约 150 MWe 的小型模块堆设计上。而在基于圣符仑堡核电厂的 HTGR（美国，330 MWe）和 THTR（德意志联邦共和国，300 MWe）的较大型堆的设计工作上，放的精力却很少。目前这种开发工作的推动力，完全来源于对有关未来核电厂的新框架所提出的各种要求的周密研究。重点一直放在模块式的设计上，要让它们最大限度地工厂中制造，减少现场建造的比例，从而更好地控制质量、缩短建设周期和节约建造费用。人们已经审慎地确定了单座模块堆的输出功率和反应堆堆芯的构型，其工作原则是借助一些与反应堆堆芯密切相关的完全非能动的系统，来满足安全和投资风险保护准则的要求（这些要求比先前任何反应堆系统所执行的更严格）。人们把这些数量较少但必须按照核技术标准建造的核系统，与为数众多的可按比较常规的建造标准建造的系统分开来考虑，目的就在于大大降低造价。

HTGR 之所以能有这些特性，主要是因为使用了性能良好的氦冷却剂、紧紧地与燃料结合在一起的大量石墨慢化剂（因此功率密度低）、永为负值的功率系数，特别是燃料本身——它们呈小颗粒状，每一颗粒包有多层陶瓷材料。这种燃料与石墨慢化剂一起，能够承受很高的温度而不失其完整性。这样的核电机组能够经受住全失冷事故，这是任何别的反应堆系统所没有的优点。

HTGR 已有近 30 年的设计和运行历史，它们的基本特性和技术性能已为人们所熟知。不过，人们认识到，模块式 HTGR 在得到设计批准书和实现商业化之前，它的一些独特性能很可能需要进行验证。因此，目前在美国、德意志联邦共和国和苏联都有相应的计划在实施。由于每个模块的规模相对来说小一些，因此可以这样设想：只用一个模块进行验证，然后在同一厂址扩建成多模块的商用核电站。实际

上,人们希望模块概念具有的优点之一,是能够在同一个厂址上,用添加模块的方法逐渐扩大规模,以满足负荷增长的需要。这个优点加上这种概念的良好本质,也许能使模块式 HTGR 成为一种好的候选堆型,以便出口到电力需求低增长模式的国家和核动力计划基础设施较差的国家。

日本的 HTGR 计划,虽然已经注意到 HTGR 拥有生产品质更好的蒸汽和使发电系统效率更高的潜力,但仍然把主要注意力放在证实大大提高氦冷却剂堆芯出口温度(高达 1000℃)的能力上,以便为工业工艺用热应用服务。为了进行与这个目的有关的实验,日本目前正在建造一座小型实验堆,即 30 MWe 的 HTTR。

液态金属堆。由于目前低成本铀资源供应充足,可满足近期和中期的需要,作为增殖和发电用的液态金属快堆(LMFR)的推广应用,还没有赢得预期的势头。不过,工业化国家都知道,在下个世纪的头二三十年就会需要增殖堆,尤其是当核电应用重新高涨时更是如此。

在目前这个过渡期间,将继续从实验快堆和中间规模 LMFR 动力机组的 200 多堆年的运行实践中获得经验。先进堆型的设计开发工作也在继续进行,并充分重视有关下一代核电机组的改进了的框架。燃料循环的开发工作也在继续进行,其重点是加大燃料的燃耗和验证闭合型燃料循环。燃料循环的开发工作大多集中于混合氧化物,但美国最近有关使用三元金属(U-Pu-Zr)燃料和相关的乏燃料火法处理工艺的开发工作,越来越显示出是大有希望的。火法处理工艺的显著优点是,大多数长寿命锕系元素可以伴随着铀一起通过此过程,随后可被回收,从而自废物流中除去。

欧洲、日本、苏联和印度进行的设计开发工作,继续遵循着以混合氧化物为燃料的大型设计的传统路线。在欧洲和苏联,正在开发功率为 1500—1600 MWe 的机组,其部件设计、电厂设计和燃料循环遵循渐进发展的模式,这种模式来自法国的凤凰堆和超凤凰堆、英国的 PFR 堆、和苏联的 BN-350 堆及 BN-600 堆的成功运行经验。目前正在作巨大的努力,以便在这些设计中更好地利用非能动安全的基本原理。日本和印度所做的工作集中在较小的机组上,它们是为下一步的设计发展服务的。日本 280 MWe 的文殊原型堆预计于 1992 年达到临界,下一步预计

发展 800—1000 MWe 的快堆。印度正在其增殖实验堆(FBTR)的基础上,着手进行 500 MWe 池式原型堆(PFBR)的设计。

在美国,克林奇河增殖堆于 80 年代初期夭折以后,就液态金属反应堆计划问题曾考虑过许多先进的设计思想。这个计划目前的主攻方向是通用电气公司提出的模块式概念(PRISM)。拟议中的每个功率单元包括 3 座功率各为 471 MWth 的反应堆模块,外加一台与它们相连的 465 MWe 的汽轮发电机组。这样的核电厂具有许多创新的特征,其中包括三元金属燃料循环的应用、对热和反应性作出响应的固有停堆特性、非能动地导出衰变热,以及这种小型模块概念所特有的其他各种建造和运行特性。这个计划正在从概念设计着手,随后是这一概念的许可证预审批,其目的是能在进行了全尺寸原型模块堆的大量实验之后得到设计证书。

结论

根据世界范围内电力消耗量与日俱增的趋势,可以得出几条结论:

- 人们清楚地预见到,电力是最适宜的和适应能力最强的未来能源方案。理由很多,其中包括电力是洁净的能源,易于输送和应用,效率高,用途极广。预计电力增长率将继续高于人口增长率和能源总消耗量的增长率。

- 对电力的这种需求,将使用于发电的各种基本资源受到愈来愈大的压力。如果世界的天然能源资源继续主要用于发电,则可以预见,它们将迅速枯竭;而这种应用的环境影响,无疑将是巨大的。从长远看,必须开发和推广应用其他可用来发电的能源资源。

- 尽管在核动力的应用方面,过去和现在都有激烈的争论,但核动力确实是能够安全、可靠和经济地发电的。实际上,如果我们把视野放开一点,就会看到,世界对电力日益增加的需求和不会向环境释放二氧化碳的核动力的发展是同时出现的,这既是一种巧合又是绝对的必然。

- 不断在进行的核动力发展工作,目前正在解决一些与核动力相关的问题。这些发展工作有的是对现有堆型作渐进式的小变动,有的是在技术上作跳跃式的较大改进(如几种先进反应堆设计中正在考虑的那样)。这些发展计划应该积极地加以实施。