

1988年世界核电发展报告

朱维和

(秦山核电公司)

一、世界核电发展现状

1. 1988年世界核电统计

据西德《原子经济与原子技术》1989年第3期统计,至1988年底世界上有26个国家(地区)的414台核电机组并网发电,总装机容量为331094MWe*,有22个国家正在建造137台核电机组,总装机容量为126809MWe,有8个国家已订货25台核电机组,总装机容量为24421MWe,三项合计为576台核电机组,总装机容量为482324MWe。

1988年全世界有7个国家的12台新核电机组(总净装机容量为11500MWe)并网发电,其中英国3台,美国、法国、西德各2台,

*IAEA统计为429座堆,总净装机容量为310812MWe。

28. R. Fischer et al., Phys. Rev., C34 (1986)460
29. H. Farrar et al., Trans. Am. Nucl. Soc., 28(1978)197
30. D. W. Kneff et al., J. Nucl. Materials, 103+134(1981)1451
31. D. W. Kneff et al., Nucl. Sci. Eng., 92(1986)491
32. S. M. Qaim et al., J. Inorg. Nucl. Chem., 35(1973)19
33. S. M. Qaim et al., Nucl. Phys., A257 (1976)233
34. T. Biro et al., J. Inorg. Nucl. Chem., 37(1975)1583
35. S. Sudar et al., Nucl. Phys., A319

苏联、西班牙、南朝鲜各1台。这12座动力堆中有9座压水堆,3座气冷堆。1988年世界上只有日本新开建3台核电机组(均为沸水堆)(总装机容量为2777MWe)。

至1988年底运行的核电机组和装机容量最多的国家是美国,为109台,102298MWe;在建的核电机组和装机容量最多的国家是苏联为43台,44116MWe。

现已建成的世界上最大的多机组核电站是日本的福岛(Fukushima),共有10台沸水堆机组,总装机容量为9096MWe;现已建成的世界上装机容量最大的核电机组是苏联的Ignalina,为1500MWe的轻水石墨堆。

全世界核电站中采用最广泛的堆型是压水堆。在总计576台核电机组中压水堆有343座(台60%),总装机容量为312417MWe(占65%)。

据统计,现在世界上有12个国家的33家(1979)157

36. M. Diksic et al., J. Inorg. Nucl. Chem., 36(1974)477
37. Z. T. Boedy et al., Proc. Int. Conf. on Nucl. Data for Sci. and Techn., Antwerp, (1982)368
38. S. M. Qaim, Nucl. Phys., A438(1985)384
39. S. M. Qaim, J. Inorg. Nucl. Chem., 36(1974)239
40. S. M. Qaim, Radichimica Acta, 25 (1978)13
41. D. Milganic et al., Nucl. Phys., A419 (1984)351

生产动力堆的厂商。至1988年底世界上接受动力堆订货最多的厂商是美国的西屋公司,其订货总数已达83座(75826MWe),西屋公司亦是出口订货最多的厂商,已出口28座(21485MWe),但国内订货最多的厂商则是法国的法马通,现已达60座(67688MWe)(苏联情况除外)。

至1988年底全世界累计的核发电量为14422397GWh;1988年世界核发电量为1870588GWh(不包括民德),占总发电量的份额接近17%*。

至1988年底累计核发电量最多的国家是美国,为4891985GWh;1988年核发电量最多的国家亦是美国为555235GWh;核发电量占总发电量份额最多的国家是法国,为69.9%*。

至1988年底发电最多的核电机组是西德的Biblis(1204MWe压水堆),共发电102016GWh;1988年发电最多的核电机组是美国的Palo Verde-3(1307MWe压水堆),共发电10866GWh。

据英国《国际核工程》1989年4月号统计,世界上22个国家(不包括苏、捷、保、民德)现运行的339座动力堆(150MWe以上)按堆型分1988年的平均年负荷因子:压水堆为68.2%,沸水堆为64.6%,重水堆为71.3%,石墨气冷堆为61.6%,先进气冷堆为43.6%;至1988年底的平均累积负荷因子:压水堆为64.6%,沸水堆为61.3%,重水堆为71.3%,石墨气冷堆为61.0%,先进气冷堆为35.3%。具有4堆以上的国家中,1988年平均年负荷因子最高的国家是芬兰,为91.2%,至1988年底平均累积负荷因子最高的国家是匈牙利,为85.4%;1988年平均年负荷因子最高的动力堆是加拿大的Pickering6(540MWe重水堆)为100.1%;至1988年底平均累积负荷因子最高的动力堆是加拿大的Pickering7(540MWe重水堆)为91.2%。

*IAEA数据

至1988年底全世界动力堆总运行服役时间已达5041堆年,动力堆总运行服役时间最长的国家是美国,已达1262堆年*。

到1988年12月4日英国Hinkley Point A核电站的2号堆连续运行时间已超过653天(原世界记录),从而创造了新的世界纪录美国Fort Calhour核电站1号机组到9月26日已连续运行476天,创轻水堆核电站连续运行时间的世界纪录。

2. 世界各国核电发展近况

尽管1986年发生的切尔诺贝利事故对世界核电发展造成一定的影响,但两年来的实践表明,核能发展的总趋势并没有改变,核电发展仍然稳步前进。

美国是世界上第一号核电大国,其核电装机容量约占世界总容量的1/3,因此美国核电事业的兴衰对世界核电发展有着举足轻重的影响,近年来美国核电工业的衰落主要是由于本国固有的一些问题。虽然美国在建核电站总数仍然较多,但是其中许多核电站没有确切的竣工日期,而新核电站的订货一直处于停滞状态。根据最近美国能源协会提出的“恢复核电方案”,美国政府需要解决核废物处置问题,为核电厂建立合理的发放许可证的手续,以及采取一贯的政策以减少不确定因素和鼓励核电的适当增长,才能保证今后核电的增长。

法国是世界上利用核电最发达的国家。根据法国的核电发展规划,到本世纪末,法国将拥有60座压水堆,总装机容量将达70000MWe,核电份额达到90%左右。由于核装机容量过剩,现今法国反应堆的订货量已减少到仅能维持其核工业活力的最低水平(每两年一座)。由于电力过剩,现在法国正在向其邻国稳步地扩大电力输出。

英国已制定一项重要的核电计划,意图是使英国核工业在长期不稳定后恢复元气。自1987年政府批准建造英国第一座压水堆核电站Sizewell-B起开创了英国核工业的新时期。在这个新时期中英国计划在2000年前建

表1 世界各国核电站统计

国家 (地区)	运 行*		在 建*		订 货*	
	机 组 数	装机容量(毛) MWe	机 组 数	装机容量(毛) MWe	机 组 数	装机容量(毛) MWe
美 国	109	102298	12	14262	2	1780
法 国	54	53445	13	18148	—	—
苏 联	56	37991	43	44116	12	12600
日 本	38	29445	12	11975	2	2712
联 邦 德 国	24	23850	1	327	—	—
英 国	24	13799	3	2646	—	—
加 拿 大	18	12381	4	3744	1	685
瑞 典	12	9868	—	—	—	—
西 班 牙	10	7838	—	—	—	—
南 朝 鲜	8	6758	1	950	2	2000
比 利 时	7	5709	—	—	—	—
中 国 台 湾	6	5144	—	—	—	—
捷 克 斯 洛 伐 克	8	3520	8	5632	—	—
瑞 士	5	3034	—	—	2	2174
保 加 利 亚	5	2760	3	3000	—	—
芬 兰	4	2296	—	—	—	—
南 非	2	1930	—	—	—	—
民 主 德 国	5	1830	6	3700	—	—
匈 牙 利	4	1760	—	—	2	2000
印 度	6	1330	8	1880	2	470
意 大 利	2	1134	1	40	—	—
阿 根 廷	2	988	1	745	—	—
南 斯 拉 夫	1	664	—	—	—	—
巴 西	1	657	2	2618	—	—
荷 兰	2	528	—	—	—	—
巴 基 斯 坦	1	137	—	—	—	—
罗 马 尼 亚	—	—	5	3411	—	—
伊 朗	—	—	2	2586	—	—
中 国	—	—	3	2289	—	—
波 兰	—	—	4	1860	—	—
墨 西 哥	—	—	2	1350	—	—
古 巴	—	—	2	880	—	—
菲 律 宾	—	—	1	650	—	—
总 计	414	331094	137	126809	25	24421

* Atomwirt. -Atomtech. 1989, №3 + IAEA数据

(至1988年底)

总 机组数	计* 装机容量 (毛)MWe	至1988年 底* 累计 发电量 GWh	1988年* 发电量 GWh	1988年核电* 占总发电量 的%	至1988年底平* 均累积负荷因 子%	1988年平* 均年负荷因 子%	至1988年底* 总运行经验 (堆年,月)
123	118340	4891985	555235	19.5	57.7	62.5	1261,10
67	71593	1778738	275190	69.9	61.4	59.6	488,1
111	94707	1173411	215000	12.6		71	687,2
52	44132	1443366	139290	23.4	67.1	70.1	394,0
25	24177	1022655	145346	34.0	69.0	73.4	279,3
27	16445	938748	69139	19.3	48.7	52.4	810,10
23	16810	675841	85463	16.0	78.5	76.9	206,0
12	9868	554917	69401	46.9	68.3	78.1	135,2
10	7838	244844	50466	36.1	68.5	78.8	82,7
11	9708	160928	40101	46.9	70.3	72.3	36,4
7	5709	304102	43146	65.5	79.8	85.3	86,7
6	5144	203988	30652	41.0	62.9	68.7	44,1
16	9152	75230	41155	26.7			44,1
7	5208	235517	22690	37.4	80.2	84.7	68,10
8	5760	108188	24450	35.6			43,8
4	2296	162788	19276	36.0	81.3	91.2	39,4
2	1930	36940	11104	7.3			8,3
11	5530	74516		9.9			72,5
6	3160	42694	13464	48.9	85.4	87.0	14,2
16	3680	60852	6763	3.0	45.5	52.0	72,8
3	1174	80141	—	0.0			77,10
3	1733	52230	5798	11.2			20,7
1	664	27861	2795	5.2			7,3
3	3275	7406	614	0.3			6,9
2	528	59385	3675	5.3			35,9
1	137	5126	195	0.6			17,3
5	3411	—	—				
2	2586	—	—				
3	2289	—	—				
4	1860	—	—				
2	1350	—	—				
2	880	—	—				
1	650	—	—				
576	482324	14422397	1870588	接近17			5040,9

NEI, 1989, April

成4座适合于世界现状的先进压水堆核电站。

由于公众和政界加深了对切尔诺贝利事故造成的核安全问题的担忧,约有10个国家(地区)(主要在欧洲)推迟或取消了核电站建造计划。即使象芬兰、比利时核电站有良好的运行记录,亦修改了核能计划。意大利取消了核电计划。南斯拉夫放弃进一步发展核能,在本世纪内不再新建核电站。西德反核情绪高涨。日本调整了早期高速发展核能的计划。台湾亦推迟新建核电厂计划。

但是切尔诺贝利事故却没能动摇一些锐意发展核电的国家的决心,特别是经互会国家(苏联和东欧各国)正在大力发展核电。世界计划中核装机容量的增长量多数是在经互会国家中。他们计划到2000年建成核电机组131台,总装机容量达到106000MWe,核电份额达到40%。1986年经互会国家制定了合作发展核电计划,决定在建设核电厂,选购设备,提高安全性以及设备维修和技术管理方面进行合作。苏捷两国已成为世界上为数不多的能生产核电设备的国家,所产设备已能基本满足经互会国家的需求。

发展中国家也迫切需要发展核电,但其面临的主要困难是技术力量和财力不足,因此至今只在少数国家小规模引入。现今发展中国家的核发电量只占总发电量的3.5%。但亦有一些国家制定了规模较大的核电发展计划,其核电建设的进程亦比较快。

印度的核电计划是到2000年核电装机容量达到10000MWe。并利用本国的技术和制造业来设计建造核电站。为了实现这个目标,除从苏联引进两座1000MWe的VVER型压水堆外,还要再建10座国产重水堆(4座235MWe和6座500MWe)。

南朝鲜计划到2000年要建成14台核电机组,总装机容量达到12000MWe。这14台机组除2台是CANDU堆外,其他全为压水堆。南朝鲜现已建成8台核电机组,在建的有1台,计划新建5台。

鉴于近年来世界能源需求结构的变化和

电力需求的不断增加,国际原子能机构预测到21世纪初在全世界范围内核电仍然是增长趋势(虽然发展不会象过去那样快)。估计从1987年到2005年,全世界核电的年平均增长率为3.8—4.6%,而发展中国家(包括东欧)的年平均增长率为7.2—8.8%,约为工业化国家的平均增长率3.4—4.0%的两倍。

二、核电技术的发展

八十年代以来,核电界从三里岛事故和切尔诺贝利事故中吸取了有益的经验教训,无疑已在安全性和可靠性两个方面使核电站的设计、建造和运行工作有了很多改进。近年来核电技术发展的趋势表明,重点正在从核电站的设计和建造转移到运行上。今后的工作将放在改进现有核电站的设计以及开发新的概念上,还要在施工方法和施工程序现代化方面进行工作,以便缩短施工周期,减少投资和提高质量。

目前世界核电站广泛采用已成熟的轻水堆(特别是压水堆),这种优势预期在本世纪内将继续保持。现代的轻水堆技术已证明是经济、安全、可靠的,其发展的主要方向是改善其经济性和技术性能,因此发展轻水堆仍将是今后一段时期核电技术发展的主要趋势,而核电站的标准化、统一化、精简化则是今后核电发展必先达成的重要任务。

在某些国家轻水堆已达到高度标准化。在轻水堆技术改进和新设计概念的开发方面许多国家(特别是一些核电发达国家)都有研究和开发计划。有些国家着重于改进铀的利用,提高转换比;有些国家采用较大幅度的革新方法,以轻水堆的长期运行经验反馈和有关的研究设计成果为基础,重点在核电站的工程性改进和非能动安全原理的应用上。这些改进目前主要体现在先进轻水堆(ALWR)上。ALWR的目标是除了降低发电成本、缩短建设周期、提高燃料利用、改进运行维修性能外,着重从设计上提高电站的

安全性、可靠性和可利用性。

优化的ALWR设计大致可分为有工程安全系统的大型ALWR设计,有非能动安全系统的小型ALWR设计和非能动安全ALWR设计三类。ALWR的标准化设计更趋精简,具备了更多的非能动安全特性,功率较小,符合目前小幅度的用电增长的需要,而且建造成本低,能减少投资风险。

美国ALWR计划的目标是为美国90年代提供一个切实可行的轻水堆方案。该计划包括制定一整套全面的ALWR设计要求,鉴定改进的大型轻水堆,以及开发中型轻水堆以便为大大简化设计和利用非能动安全设施开创好的前景。美国开发ALWR的第一阶段工作(如美日合作开发的西屋—三菱(W—M)APWR,燃烧工程公司推出的80型先进压水堆系统CES—80P)业已完成。现已开始的第二阶段的研究主要集中在600MWe级的中型ALWR上,以西屋公司的AP—600(APWR)为代表,这是一种有非能动安全系统的中型ALWR。另外美国还在开发非能动安全ALWR(PRISM)和高温气冷堆的工作。

苏联正在开发改进型(加强安全型)VVER—1000堆。改进包括增加非能动系统,安装诊断和自动过程控制系统,提高控制机构的有效性等。其第一个改进方案是VVER—88,第一座这种类型的堆是Khmelnitsky的5号机组将在1990年开始建造。预期1994年开始建造的所有核电站将全部采用VVER—88型设计。进一步的改进方案称为VVER—92,它是一种经济上的最优化方案,同时进一步采用非能动系统以降低堆芯熔化概率。VVER—92型的大规模引入将不会晚于本世纪末。在此基础上已开始设计VVER—1800(5250~5800MWt)堆,它是VVER—1000提高等级、改进安全性和经济性的一种型式,计划2000年建设两座VVER—1800核电站。与此同时,苏联除了为提高现有RBMK型堆的安全性而采取一些弥补性的措施外,正在发展一种改进型(加强安全性)的RBMK

—1500堆UKR。在该堆设计中采用了新的安全原则。所有改进的目的在于给出一个较高级别的非能动保护以防止超出设计基准范围的四类严重事故。

法国已拟定了90年代压水堆改进计划,其中包括:①实施M3计划,提高现有900MWe级压水堆的输出功率。此方案已在希农·B3和B4压水堆上实现并将应用于其他26座CP1、CP2型压水堆上。②1984年推出N4型(系列)1400MWe级压水堆,它是P4系列(1300MWe)的改进型。它是按法国标准化政策结合运行经验反馈的新一代压水堆。正在舒茨核电站建造的N4型压水堆B1和B2将分别在1991和1993年建成。看来在90年代,法国的核电发展主要寄希望于这种堆型。

日本早在十年前就制定了轻水堆改进和标准化计划。1987年投入运行的敦贺2号属于新一代的四环路压水堆,体现了该计划第一、二阶段的全部要求;新开建的Hamaoka—4(1137MWe沸水堆)的设计中亦考虑了该计划的结果。日本与美国合作开发的西屋—三菱(W—M)APWR和日立—东芝—通用电气(H—T—GE)ABWR工作已完成。(W—M)APWR是一种有工程安全系统的大型ALWR,设计中增加了安全余量,采用挤水棒的谱移控制系统,这种堆计划在90年代建成。东京电力公司准备为计划中的Kashiwazaki—Kariwa6和7号机组订购这种ABWR,并将于1996和1998年投入运行。另外日本正在开发Iser堆,这是一种标准化的200—300MWe的模块式的非能动安全ALWR。

西德按Convoy计划建造的三座标准化1300MWe压水堆核电站已在88年建成并投入运行,它们均属于有工程安全系统的大型ALWR之列。另外西德正在积极开发先进的高温气冷堆。他们与美国合作开发先进的模块式高温气冷堆,这种堆具有极高的固有安全性。现已完成四模块的538MWe高温气冷堆核电站的初步设计工作。

英国在建中的第一座压水堆核电站Siz-

ewell-B亦是一种有工程安全系统的大型ALWR,它是以西屋公司四环路标准核机组系统(SNUPPS)为基础并结合英国实际做了某些改进。

三、核电的安全性与经济性

1. 核电的安全性

尽管核电技术已趋于成熟,而且多年来世界大多数核电站一直在安全运行着,但某些严重事故(特别是切尔诺贝利事故)的发生,从客观上毕竟反映出核动力的安全问题始终没有得到妥善解决。当前核电的安全性已成为世界核电界关注的中心。核电界一致认为,核电的安全性应在制定科学上有严格依据的准则基础上得到完善。因此,在切尔诺贝利事故后国际原子能机构(IAEA)成立了国际安全咨询组(INSAG),组织了对IAEA核安全标准的复审和修订(现已出版了5个核电站安全法规的修订版本),并相继发表了一系列有关安全问题的研究报告和核电站基本安全原则。

与此同时,在切尔诺贝利事故后,IAEA的运行安全检查组(OSART)加强了对成员国核电站的检查(到1988年底已进行了29次检查),OSART发表的报告确认核电站运行性能是核工业的唯一弱点,核电站的管理仍较薄弱,另外在核“安全文明”方面很少有核电站已达到要求。

现今世界上拥有核电的国家都在积极从事安全问题的研究,并采取了一系列事故预防和应急措施以提高核电的安全性。各国对核电安全性的研究结果表明,核电站的安全性可通过优化技术手段、操作方法和操纵员这三个要素之间的相互关系得到进一步的改善。

切尔诺贝利事故亦大大促进了国际核安全合作。这种合作表现在世界核电业主联合会(WANO)的成立(有30多个国家的150家电力公司参加了这个组织)。该联合会准备在伦敦、莫斯科、东京和亚特兰大成立四个地区

中心,目的是通过情报交流改进核电站的安全运行。该联合会将协同IAEA OSART进行工作。

2. 核电的经济性

衡量电站经济性的主要指标是比投资和发电成本。发电成本包括电站投资提成,燃料费和运行维护费。近年来对核电经济性的研究表明,虽然核电站的具体经济性与各国的工业基础和经济政策有关,但它对常规电站的相对经济性都是具有普遍性的。

据70年代和80年代初建成运行的核电站和常规电站的统计资料表明,核电站的比投资比煤电站约高30—80%,但核燃料成本只有燃煤成本的25—35%,而两者运行费却差不多,因此核电站的发电成本要比煤电站低20—40%。如1985年:法国低41.4%,英国低23—38%,西德低36.4%,比利时低34.7%,意大利低25.1%,荷兰低19.5%。

目前世界上除美国核电经济性稍差以外(1987年美国核电站的平均可变费用第一次超过煤电,这是由于运行维修费大大提高所致),多数国家仍然保持着这样的优越性。

国际发供电联盟(UNIPED)发表的关于1995年投产的核电站和煤电站发电成本的预测报告亦认为,虽然核电站的比投资超过煤电厂(西德高111%,荷兰高86%,意大利高82%,英国高76%,西班牙高71%,比利时高34%,日本高17%,法国高12%),但发电成本却明显地低于煤电(比利时低44%,法国低31%,意大利低31%,西德低30%,日本低22%,西班牙低22%,荷兰低21%,英国低19%)。该报告的结论认为,在所研究的时间范围内,核电在经济上明显地优于煤电。

参考文献

- 1、Atomwirt-Atomtech, 1989, No.3
- 2、IAEA Bull. 1989, No.1
- 3、IAEA Newsbriefs, 1989, No.4
- 4、Nucl. News, 1988年3月号至1989年4月号
- 5、Nucl. Eng. Intern. 1988年3月号至1989年4月号
- 6、国外核新闻, 1988, No. 4-1989, No.1
- 7、轻水堆技术发展综述(核动力工程, 1988, No.1)
- 8、核能战略研究通讯, 总9期, 总10期