

核动力的发展: 历史和展望

一些事件改变了世界核动力前景

N. L. Char 和 B. J. Csik

为了研究核动力的发展史，我们可以回顾一下人们 40 年来在一个不断变化的领域中所作出的努力。人们已经做了大量工作，取得了不少成绩，也获得了许多经验教训。目前，在 26 个国家中有 400 多座核动力厂在运行，供应着全世界电力需求的约 16%；积累了约 4500 堆年的运行经验。在有的国家里，核动力已成为最重要的电力来源。然而，核动力从一种概念发展到实际商业应用的这一过程却不是一帆风顺的，种种事件接二连三，有许多成功，也有一些失败。遗憾的是，失败往往成了新闻媒介的重要新闻，并引起了公众的注意；而许多成功的事实却很少得到报道。

50 年代，核动力已开始跻身于电力市场。这是一个充满激情、大力进行研究和开发的时期，志在为世界提供一种廉价的、实际上取之不尽用之不竭的替代能源。原子能的和平利用已成为进步和有益于人类的象征，国家之间也以前所未有的规模开展了合作。科学技术、科学成就和科学家们受到了新闻媒介的赞扬，并得到公众的高度关注。到 1960 年，在 4 个国家中已有 17 座核动力堆在运行，总装机容量为 1200 兆瓦电 (MWe)。这 4 个国家是：法国，苏联，联合王国和美国。另有 6 个国家也开始实施核动力计划。

早期的顺利发展

60 年代期间，核动力达到了技术上成熟、经济上有竞争力的发展阶段。到 60 年代中期，电力公司大

* Char 先生是 IAEA 核动力处处长，Csik 先生是该处职员。

批订购核动力厂，到 1970 年，在 15 个国家中已经有 90 套核电机组在运行，总装机容量为 16 500 MWe。扩大核动力利用的趋势，在 70 年代期间持续不减。平均说来，每年有 25—30 套新的核电机组开建。到 1980 年，在 22 个国家中有 253 座核动力厂在运行，总装机容量为 135 000 MWe。此外，当时还有装机容量为 200 000 MWe 以上的 230 套核电机组在建造。

正是 70 年代的石油价格冲击，大大促进了核动力的推广和发展。能源规划人员开始在寻求合适的燃油替代能源方面，更多地注意核动力的作用，并开始设法确保世界能源供应的多样化。然而，这些计划常常不够现实，其他一些因素也对核动力的发展产生了不利影响。

石油价格上涨的影响

石油价格的上涨引起了商品价格的全面上涨。结果，包括核动力厂在内的所有来源生产的能源，价格都大大上涨。各地经济发展减缓。因此，能源以及电力需求的增长率下降，许多国家，特别是高度工业化国家发现，他们需要增加的装机容量比原计划的要小。工业化国家普遍加强了节能措施。这也影响整个电力需求的增长率。积累工业—商业规模核动力厂的建造和运行经验要有一个过程，早期的原型核动力机组和示范核动力机组暴露出了各种各样的技术问题。所出现的这些带有普遍意义的问题必须予以解决，造成新核动力厂的投资和建设时间都大大增加。电力公司在管理核项目和运行其核动力厂方面，常常显得准备不足，而且还有某些骄傲自满的迹象。由于对核安全的担忧增加，管理机构的要求也变得越来越严格。



美国阿肯色-1核动力厂的2号机组。离阿肯色河约半英里的引水渠是著名的钓鱼区。该核动力厂向大约20万个用户供电，是美国100多座运行中核动力厂之一。（来源：美国原子工业工会）

认识的深化和人们的担忧

当核动力从条件优越的实验室脱颖而出时，公众开始接触核动力；随着核动力“科学”神秘感的消失，公众对其越来越感兴趣；等到核动力在70年代期间变成强大的工业现实时，公众却开始担忧起来。与原子弹、破坏、危险、不可见辐射、保密有关的联想和对未知因素的畏惧，给核动力的发展增加了许多不利因素。人们对环境的担心已大大增加，尤其是在发达的工业化国家里；环境保护主义者的组织到处出现，并且很快就将注意力转向核动力这个适于他们攻击的目标。许多国家的新闻媒介、部分公众以及许多政治家逐渐产生了反核动力的情绪，这些情绪有时有些道理，但大多是感情用事。公众的接受与否，成了核动力促进者必须考虑的一大问题。常被人引用的所谓“中国综合症”，已成为各地反核活动集团的口头禅。正是在这个关键时刻，也就是1979年，美国的三里岛（TMI）核电厂发生了世界核动力史上第一起大事故。

这起事故冲击了全世界的核工业，使得对核动力的不利趋势在70年代后期进一步加剧。虽然随着许

多核动力厂的投入运行，核装机容量仍在继续增加，但是新开建的核动力厂不多，而且已订货甚至已开建的许多项目纷纷停建或取消。

然而，各国对核动力的态度是不同的。一些国家仍保持其雄心勃勃的发展计划，有几个国家停止进一步扩大其核动力规模，而许多国家则放慢其发展速度。其原因不仅出于对核安全的担心，还有其他一些因素，诸如财政制约、电力需求增长率下降以及公众和政界的接受能力等。三里岛事故的影响除了消极的一面以外，还有积极的一面。从中吸取的经验教训，无疑已在安全性和可靠性两个方面，使核动力厂的设计、建造和运行工作有许多改进。IAEA主动采取了许多加强这些方面的国际合作的行动。

1951—1986年的核动力增加情况

年	开 建		并 网	
	机组数	GWe	机组数	GWe
1951	1			
1952				
1953	2	0.1		
1954	6	0.5	1	
1955	3	0.1		
1956	9	0.8	1	0.1
1957	12	1.5	1	0.1
1958	7	0.6	3	0.2
1959	6	0.9	5	0.3
1960	10	1.0	6	0.6
1961	6	1.1	2	0.1
1962	8	1.3	10	1.0
1963	5	1.4	7	0.4
1964	10	3.0	8	1.1
1965	10	3.5	9	1.6
1966	16	7.4	8	1.2
1967	23	15.2	10	2.1
1968	38	26.1	6	1.1
1969	17	12.7	11	3.5
1970	37	24.9	6	3.3
1971	22	16.1	16	7.3
1972	22	19.3	16	8.8
1973	23	18.3	20	12.5
1974	35	29.8	26	16.9
1975	40	38.0	15	10.2
1976	29	27.2	19	14.1
1977	15	14.5	18	13.3
1978	21	18.2	20	15.8
1979	21	19.7	8	7.0
1980	23	21.4	21	15.3
1981	12	11.6	23	20.4
1982	20	19.1	18	14.3
1983	20	14.5	23	19.1
1984	10	9.3	34	31.7
1985	13	9.9	34	31.8
1986	1	0.8	23	23.3

注：不包括已取消或已停建的反应堆。
GWe 即吉瓦（电）。

在三里岛事故以后的一个时期中，核动力的元气逐渐恢复，各种统计数字明显好转。1986年初，即三里岛事故后7年，全世界核动力厂的运行经验已超过3500堆年，一起死亡事故也没有发生，核工业界还曾热切地期待着达到4000堆年这个目标，以便把三里岛事故从人们的记忆中抹掉。

但是，1986年4月26日，核动力又一次遭到沉重的打击，苏联乌克兰地区的切尔诺贝利发生了世界核动力史上最严重的一起事故，造成人员伤亡，释放了超越国界的大量放射性。核动力的根基和前途都受到了严重损害。全世界强烈地受到这起事故的影响，而其全部后果至今仍然有待人们去领会。但是，切尔诺贝利事故已过去一年多，如今人们至少可以从某种历史角度评估其直接影响了。*

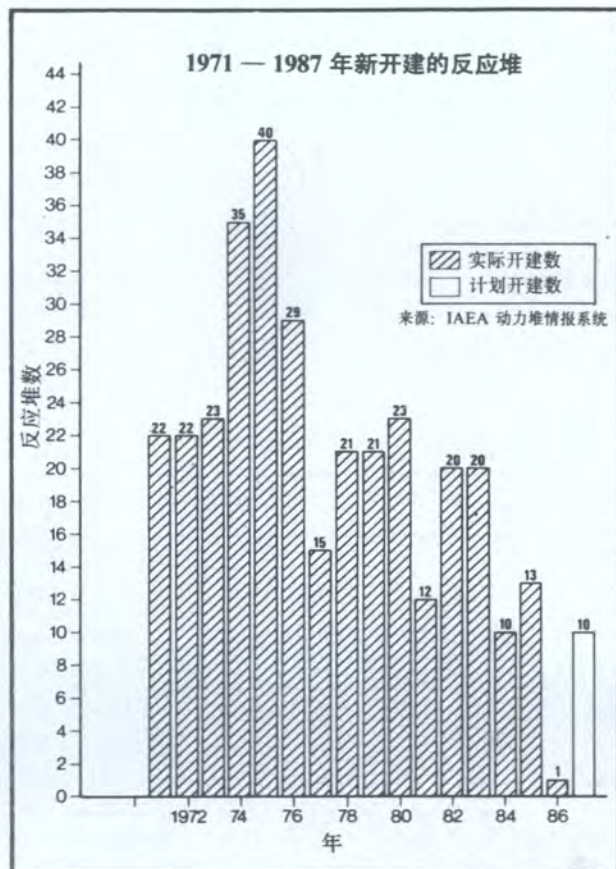
近期的趋势

近期的趋势确实能给我们估计核动力的前景提供一些依据。

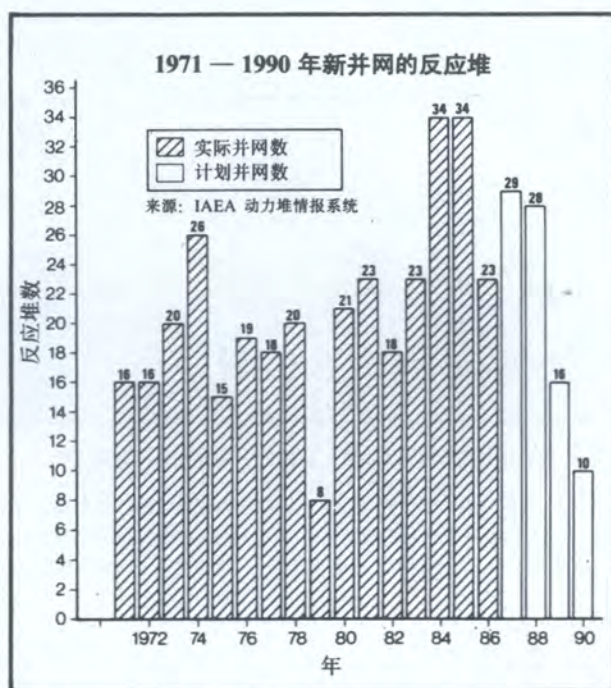
1986年期间，在8个国家中有23座反应堆(23 300 MWe)并网发电，其中15座是在4月份后并网的。1987年，并网发电工作正在按计划顺利地進行。建造中的反应堆只有3座停建或被取消(菲律宾1座，美国2座)。除了切尔诺贝利4号机组外，运行中的核动力厂没有一座关闭。1986年底时，在23个国家中有133座反应堆在建造，总装机容量为118 000 MWe。各处的迹象表明，其中大多数(不一定是全部)核动力厂的建设工作将进行到底。预计到1990年，运行中的核电机组总数将达到480套，总装机容量为350 000 MWe。这意味着核装机容量将比目前增加25%。另外，即使不算新建的核电机组，届时大约还有50套机组在建造。

核动力领域的这种趋势还表明，重点正在从核动力厂的设计和建造转移到运行上。今后的工作肯定将放在改进现有核动力厂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。

同时，人们越来越重视改善核动力厂的运行实绩。最近一两年，核动力厂运行实绩持续提高，而且这种势头还在继续。安全性、可靠性和质量是提高运



行实绩的关键所在，核工业界正在世界范围内推进这方面的工作，并已取得成效。机构也正在把其重点逐步转向运行方面，以满足成员国的需要。核动力厂运行人员的合格条件、人机衔接、质量保证，尤其是运



* 有关切尔诺贝利事故的更全面论述，参阅 IAEA 的《1986年核安全评论》。该评论可向 IAEA 出版处购买。(订购办法请看本刊“最新出版物”栏。)

行安全性方面的活动，正在引起人们更多的注意。

运行中的核动力厂不仅数量在增多，而且年龄也在增长。在 90 年代期间，核工业必然会面临是延长核动力厂的寿命还是使其退役的抉择，这是将逐渐引起人们更多注意的另一个问题，也会在机构的计划内反映出来。

未来的地位

至于核动力的未来地位，我们可以根据运行中和

建造中的核动力厂进行合理的预测。还可以假定，除非国家政策起变化，否则核动力厂一旦并入电网，就将一直运行到其寿命终了为止。瑞典是实际上采取逐步淘汰核动力政策的唯一国家。另有几个欧洲国家也已提出这个问题，但至今他们之中还没有一个做出逐步淘汰核动力的政治决定。奥地利是世界上开始实施但又废止了核动力计划的唯一国家，它禁止其仅有的的一座核动力厂投入运行。在菲律宾，它的第一座核动力厂的建设已中断。

总装机容量和核装机容量的估计值

	1986			低估值和高估值								
	总装机容量 GWe	核装机容量 GWe	%	1990			1995			2000		
	总装机容量 GWe	核装机容量 GWe	%	总装机容量 GWe	核装机容量 GWe	%	总装机容量 GWe	核装机容量 GWe	%	总装机容量 GWe	核装机容量 GWe	%
北美	801	95.8	12.0	881	117	13	970	123	13	1062	131	12
				943	117	12	1075	132	12	1188	148	12
西欧*	530	101.4	19.1	556	122	22	608	134	22	666	153	23
				590	122	21	660	160	24	721	190	26
太平洋工业化地区	216	25.8	12.0	233	31	13	262	40	15	297	54	18
				253	31	12	293	49	17	330	70	21
东欧	459	35.6	7.8	535	61	12	631	84	13	725	108	15
				556	61	11	682	111	16	806	150	19
亚洲	243	11.6	4.8	310	14	4.6	403	19	4.7	499	27	5.4
				324	14	4.4	451	20	4.4	604	33	5.4
拉丁美洲	136	1.6	1.1	175	2.2	1.3	230	5.6	2.4	289	7.5	2.6
				181	2.2	1.2	252	5.6	2.2	341	9.1	2.7
非洲和中东	112	1.8	1.6	144	1.8	1.3	184	1.8	1.0	223	1.8	0.8
				150	1.8	1.2	209	3.0	1.5	279	3.9	1.4
全世界总计	2497	273.7	11.0	2834	350	12	3288	407	12	3760	482	13
				2996	350	12	3621	481	13	4269	604	14
工业化国家	1904	254.3	13.4	2086	322	15	2332	366	16	2595	423	16
				2218	322	15	2561	434	17	2873	527	18
发展中国家												
• 欧洲中央计划经济国家**	88	5.7	6.4	104	11	10	124	16	13	140	24	17
				107	11	10	132	18	14	156	28	18
• 其他	505	13.8	2.7	644	17	2.6	833	25	3.0	1025	36	3.5
				670	17	2.5	927	28	3.1	1238	48	3.9
• 小计	593	19.4	3.3	749	27	3.7	956	41	4.3	1165	60	5.1
				777	27	3.5	1059	47	4.4	1395	76	5.5

* 奥地利的核计划已经中断，该国的一座反应堆没有列入。

** 欧洲中央计划经济 (CPE) 发展中国家是：阿尔巴尼亚、保加利亚、捷克斯洛伐克、匈牙利、波兰和罗马尼亚。

注：以 1990 年的高估值和低估值为例，高估值系指运行中所有电厂加上正在建设且已宣布的并网日期不迟于 1990 年 12 月的那些电厂的总装机容量。低估值是 IAEA 利用下述程序估计的：一个国家一个国家地算出已在运行的核动力厂的平均建成时间（来源：IAEA PRIS）；对建设中的每座核动力厂来说，这个平均建设时间加上实际开建日期，就能得到估计的建成日期。用这种程序算出的估计建成日期迟于 1990 年 12 月的核动力厂就不列入 1990 年的装机容量低估值之内。

在预测 90 年代中期以后的核动力时，必须考虑新建的核动力厂，这就使估计带有推测性。对于国家政策和核动力计划的发展，都不得不做某种假设。

目前，23 个国家已明确声明愿意继续实施其正在执行的核动力计划，包括处于不同规划阶段的已挂号项目，另有 9 个国家尚未明确表示有否后续项目，但看来他们中的大多数打算继续干下去。值得指出的是，有 19 个国家生产的核电已占其总发电量的 10% 以上；其中 12 个国家的核电已占 20% 以上，走在最前面的 3 个国家生产的核电已超过 50%。除了已经有核动力计划的国家以外，大约还有 15 个国家已声明有意要搞核动力。所有这些国家都在积极地从事规划研究，其中有些国家已处于谈判获得他们第一套核电机组的高级阶段。

在弄清楚了各国的计划，以及各国或者准备继续实施其正在执行的核动力计划，或者准备要搞核动力的意图以后，就能得出这样的结论，即核动力的前景是乐观的。当然，还必须考虑到：1986 年开建的核动力厂只有 1 座（日本，伊方-3 号机组）。还有，尽管 1987 计划开建 10 座核动力厂，但看来其中的一些也许要推迟。事实表明，许多计划已经放慢，有些项目打算推迟，有些国家则发现，即便他们开创其核动力计划的决心始终不变，但实际做起来也是困难重重。

许多预测核动力发展的人，近几年已变得极其谨慎，因为现实总是和他们的预测大不一样。目前，IAEA 对 2000 年核动力装机容量的预测是：低估值 480 000 MWe，高估值 600 000 MWe。这意味着，在今后 5—7 年内，在 35—40 个国家中将新开建 90 000—120 000 MWe。平均每年开建 20 000—30 000 MWe，看来这个估计不算高；这个数字是以各个国家的计划和规划为依据的，并且肯定有足够的制造能力可满足所涉项目的要求。

这种预测确实包含有这样一种信心，即核工业会逐渐摆脱切尔诺贝利事故的消极影响而恢复元气；将一反新开建核动力厂减少的趋势为增加的趋势。对核动力的这种信心并不是一种主观愿望，而是以对一系列因素所做的客观评价为基础的。



为了有助于满足未来的电力需求，许多国家打算采用核动力方案。(来源：《法国核简报》)

经验还表明，事故的副作用是不会永远持续下去的；理智和负责的态度必将占居上风。能源和电力需求量将会增加，正如人们已经认识到的那样，节能措施和“新的与可再生的”能源只能起有限的作用。核动力一直保持着经济上的竞争性，世界各地核动力厂的运行实绩在稳步改善。

核动力在过去就已被称为“成熟的”技术，这也许有些为时过早，但在今天这个形容词看来已经名副其实了。核动力确实是一种有希望的替代能源，人们在国家范围内和通过国际合作正在做出的进一步努力，完全可以为核动力保持其生命力提供有力的保证。

在过去的 30 年间，机构始终是促进和有效实施国际合作的一个渠道。这个渠道是敞开的，并且今后也将继续敞开。



安全评价服务

作为核能领域唯一的世界性政府间的组织，国际原子能机构(IAEA)具有独特的地位，它可以对或许有一定国际意义的安全问题进行检查和提出意见，这些问题有的带普遍性，有的则刚刚露头。从核动力事业一开始，严格的安全标准就为核动力厂总的说来相当不错的安全记录打下了基础。IAEA 的辐射防护《基本安全标准》(BSS)和核动力厂《核安全标准》(NUSS)，已被许多成员国全部或部分地采用，作为其本国法规的基础。它们对于接受机构援助的项目还具有强制性。在放射性废物运输领域，机构的权威也得到了确认。机构的《放射性材料安全运输条例》已经成为该领域获得极好的安全记录的重要支柱。这个条例不仅为一些国家的政府所采用，而且也作为一些与运输有关的国际组织，例如国际民用航空组织(ICAO)和国际海事组织(IMO)所采用。

自 80 年代初期以来，为适应成员国和国际间共同开发的需要，IAEA 已加强了它对核电厂运行、辐射防护以及放射性废物管理方面的安全评价服务。已开辟的五个专门计划如下：

- 国际原子能机构事故报告系统 (IAEA-IRS)：该系统规定在与核安全有关的问题方面交换成员国所取得的核电厂运行经验，总结出可吸取的经验教训，并在参加者中间传播情报。定期举行会议，深入讨论特定的事件，其参加者来自经济互助委员会 (CMEA)、经济合作与发展组织的核能机构 (NEA / OECD) 和一些发展中国家。

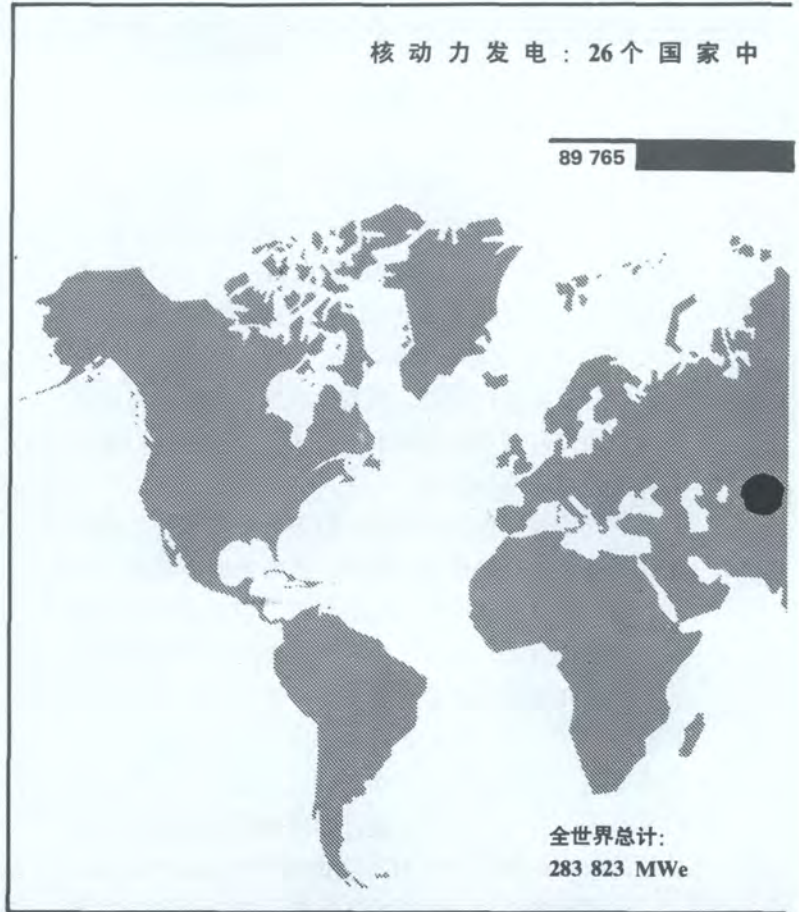
- 运行安全检查组 (OSART)：这些检查组根据成员国的请求组织现场工作组进入成员国的核电厂。典型的做法是派出大约 10 名专家对一个电厂作为期 3 周的访问，以检查电厂运行的各方面情况，帮助该国的主管部门对照别处成功的电厂来评价该电厂的安全措施。

- 重要安全事件评价组 (ASSET)：原子能机构最近开始执行这项新的服务，目的是向电站运营者和政府管理机构，就已发生的具体事件、事件起因和安全意义，以及为保证运行安全而采取的纠正措施，提出独立的分析和指导。

- 辐射防护咨询组 (RAPAT)：由于发展中国家需要加强辐射防护计划，机构于 1984 年创

核动力发电：26个国家中

89 765



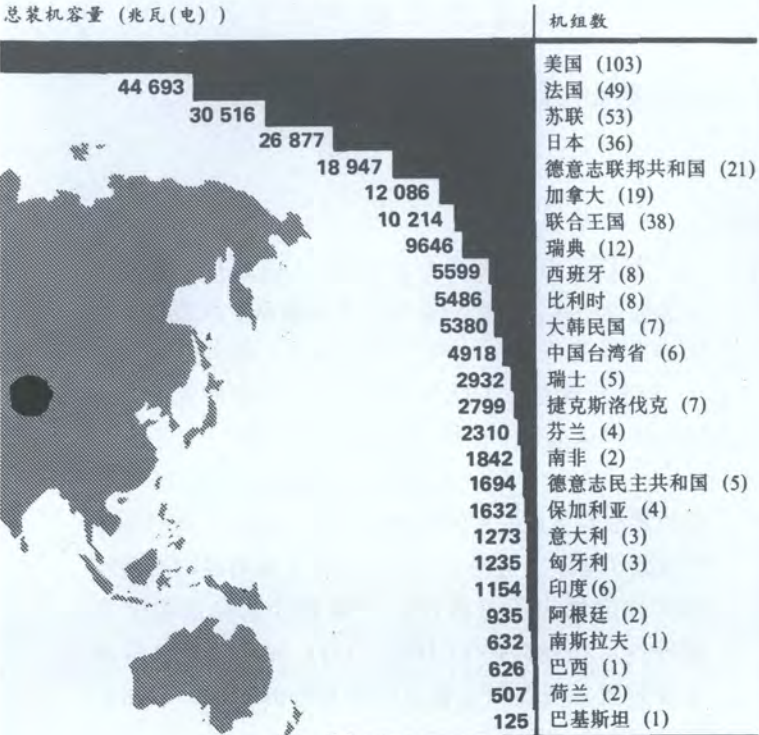
全世界总计：
283 823 MWe

IAEA 派遣核动力厂安全、辐射防护、及放

	OSART	RAPAT	ASSET	WAMAP
巴西.....	1985			
保加利亚.....				1987
加拿大.....	1987			
智利.....		1985		
中国.....		1984		
哥伦比亚.....		1987		
多米尼加共和国.....		1986		
厄瓜多尔.....		1986		
埃及.....		1986		
芬兰.....	1986			
法国.....	1985			
德意志联邦共和国.....	1986, 1987			
希腊.....		1987		
匈牙利.....	1988			1987
冰岛.....		1986		
伊拉克.....		1984		
意大利.....	1987			
约旦.....		1987		

注：工作组是应成员国的请求派遣的。用斜体给出的年份表示已有计划或正在酝酿的工作组，这里列出的属于这几种计划的工作组，不包括这些领域内的 IAEA 正在进行的其他活动。

的 406 座运行中反应堆



来源: IAEA 动力堆情报系统; 截至 1987 年 8 月 1 日的初步数据。

立了辐射防护咨询组, 这些咨询组应邀访问成员国, 以评估该国与放射性材料所有应用有关的辐射防护计划和活动, 明确具体的需要和优先次序, 并就培训和其它方面的长期活动提出切实可行的建议。咨询组的专家包括原子能机构的工作人员和来自世界卫生组织 (WHO) 及国际放射防护委员会 (ICRP) 的参加者。

• 废物管理咨询计划 (WAMAP): 为了补充机构正在这个领域进行的各种活动, 扩大它的技术援助和服务的范围, IAEA 于 1987 年开始执行一项废物管理咨询计划, 由来自机构及其成员国的 3-4 名资深专家组成的这些咨询组, 它们应邀访问发展中国家, 以审查和评价该国的活动。它们的工作重点是鼓励人们采取切实可行的办法, 以便全面开发安全的放射性废物管理系统。

自 1986 年切尔诺贝利事故以来, 成员国对上述 5 种服务中的大多数服务的请求已明显增加。更全面的论述核动力和核安全的报告将在下一期《国际原子能机构通报》(第 29 卷第 4 期) 上刊载。其中将有一篇关于 IAEA 召开的“核动力运行实绩和核安全国际会议”的专门报告。该会议预定于 1987 年 9 月 28 日—10 月 3 日在维也纳召开, 估计与会者将超过 600 名。

射性废物管理方面的各种咨询工作组的情况

	OSART	RAPAT	ASSET	WAMAP
肯尼亚.....		1986		
大韩民国.....	1983, 1986	1987		
马来西亚.....		1985		
墨西哥.....	1986, 1987	1986		
荷兰.....	1986, 1987			
尼加拉瓜.....		1985		
巴基斯坦.....	1985			
巴拿马.....		1986		
秘鲁.....		1987		
菲律宾.....	1985	1987		
波兰.....				1987
葡萄牙.....		1986		1987
西班牙.....	1987			
苏丹.....		1987		
瑞典.....	1986			
阿拉伯叙利亚共和国.....		1987		
坦桑尼亚.....		1987		
土耳其.....		1985		1987
美国.....	1987			
委内瑞拉.....		1986		
南斯拉夫.....	1984		1986	
扎伊尔.....		1986		
赞比亚.....		1986		

核动力厂事故报告系统 (IAEA-IRS)

参加国:	参加时间:
阿根廷	1983 年 5 月
巴西	1983 年 11 月
保加利亚	1983 年 2 月
捷克斯洛伐克	1985 年 1 月
芬兰	1983 年 5 月
德意志民主共和国	1984 年 1 月
匈牙利	1984 年 10 月
印度	1984 年 6 月
大韩民国	1983 年 2 月
荷兰	1983 年 6 月
巴基斯坦	1984 年 8 月
西班牙	1983 年 1 月
联合国	1986 年 3 月
苏联	1984 年 9 月
南斯拉夫	1986 年 5 月
经过 NEA / OECD 参加的国家:	
比利时	1983 年 2 月
法国	1983 年 6 月
德意志联邦共和国	1983 年 7 月
意大利	1985 年 3 月
瑞典	1983 年 10 月
美国	1985 年 8 月
加拿大	1986 年 7 月
提交报告和参加会议的国家:	
日本	
瑞士	