

仅供工作使用

大会临时议程项目 13
(GC(52)/1)

国际核电状况与前景

总干事的报告

概 要

- 大会 GC(50)/RES/13 号决议和 GC(51)/RES/14 号决议要求秘书处自 2008 年起每两年单独提供一份关于国际核电状况与前景的全面报告。本报告经必要更新后，还将作为《2009 年核技术评论》的一份单独附件。

目 录

正文摘要	1
导言	1
成员国的核电状况	1
核电今后的利用前景	2
扩大核电利用的挑战	2
A. 导言	4
B. 核电的现状	4
B.1. 核能利用	4
B.2. 现有反应堆技术	7
B.3. 人力资源	10
B.4. 燃料循环活动	10
B.5. 放射性废物管理和退役	12
B.6. 工业能力	12
B.7. 非电力应用	13
C. 核能今后的应用前景	14
C.1. 在已经利用核电国家的前景	14
C.2. 在考虑引进核电国家的前景	15
C.3. 地区协作	15
C.4. 引进核电的潜在推动因素	15
C.5. 核电增长预测	17
C.6. 对非电力应用的期望和潜力	19
D. 核发展的挑战	20
D.1. 近期核发展的关键问题和趋势	20
D.1.1. 安全性和可靠性	20
D.1.2. 经济竞争力和筹资	20
D.1.3. 公众认识	21
D.1.4. 人力资源	22
D.1.5. 乏燃料和废物管理	22
D.1.6. 运输	23
D.1.7. 扩散危险和核保安	23
D.1.8. 新核国家的基础结构建设	23
D.1.9. 电网与反应堆技术之间的关系	24
D.2. 长期部署的关键问题	24
D.2.1. 可得资源的有效利用	25
D.2.2. 反应堆设计革新	25
D.2.3. 燃料循环革新	25

E.	反应堆和燃料循环技术的发展.....	26
E.1.	核反应堆和辅助技术的发展.....	26
E.1.1.	渐进性发展.....	26
E.1.2.	未来创新.....	29
E.2.	核燃料循环和配套技术的发展.....	30
E.2.1.	燃料循环技术的发展.....	30
E.2.2.	未来创新.....	30
E.3.	非电力应用.....	31
F.	与扩大利用核能和技术发展有关的合作.....	31

国际核电状况与前景

总干事的报告

正文摘要

引言

1. 成员国在 GC(50)/RES/13 号决议和 GC(51)/RES/14 号决议中要求秘书处自 2008 年起每两年单独提供一份关于国际核电状况与前景的全面报告，本报告即是响应该要求而编写。

成员国的核电状况

2. 核电厂主要用于进行电力生产。目前正在运行的反应堆共有 439 座，分布在 30 个国家，其发电量占全球发电总量的约 14%。核电在全球总发电量中的份额近年来略有下降。但核发电总量正在增加，因为核电厂可利用率和出力的提高及新核电厂的建造抵消了老核电厂的关闭所造成的损失。由于核电厂基建费用偿还后继续运行所具有的经济效益，经过对核电厂寿期管理的慎重评定，一些反应堆已将其运行许可证另外延长了 20 年。

3. 轻水堆迄今是目前使用最普遍的反应堆，其次是加压重水堆和气冷堆。虽然自 20 世纪 50 年代以来一直在开发快堆，但目前只有示范厂在运行。

4. 核设施的安全性和可靠性一直在稳步提高。在拥有在运核电厂国家之间建立的强有力网络使营运者能够相互学习和应对共同的问题。持续性的努力使安全文化和监管监督不断得到加强。

5. 现有铀供应可以满足需求。当前的浓缩和燃料制造能力足以满足今后 10 年的预期需求。在乏燃料贮存和后处理及高放废物的处理方面也已积累了丰富经验。现有后处理能力足以满足当前需求。但大部分乏燃料仍被贮存起来，以等待就今后的政策作出决定，即：是对乏燃料进行后处理和再循环还是将其作为废物进行处置。迄今尚无最终处置设施。

6. 目前只有几个国家将民用核能用于除电力生产之外的目的，即主要是海水淡化和区域供热，但这些利用的范围是有限的。

核电今后的利用前景

7. 全球能源需求和电力在能源消费总量中的份额均在迅速增长，核电的贡献率预计也将显著增加。在目前使用核动力进行电力生产的 30 个国家中，24 个国家打算允许建设新的核电厂，而它们当中的大多数都正在积极支持增加核电的利用，有些为此而实施了激励措施。预计它们当中的大多数国家都将建造发电容量超过 1000 兆瓦（电）的反应堆。

8. 此外，越来越多的国家表示有兴趣引进核电。在近年已表示具有这种兴趣的 40 多个国家中，20 多个国家正在积极考虑通过核电计划满足其能源需求，其他国家则表示有兴趣了解与引进核电有关的问题。

9. 推动核电预期增长的因素包括：日益增长的能源需求、对国家能源供应安全的关切、越来越不稳定的化石燃料价格及全球环境关切。对正在扩大现有核计划的国家和正在寻求实施核计划的国家来说，推动因素似乎都不外乎这些。

10. 各国际组织进行的预测均显示核电利用将显著增长。原子能机构的预测显示，全世界的核发电总量到 2020 年将增到 437 吉瓦（电）至 542 吉瓦（电）之间，到 2030 年将增到 473 吉瓦（电）至 748 吉瓦（电）之间。在高值和低值预测中，今后 20 年中增量最大的预计将是现已拥有核电计划的国家。原子能机构和其他组织所作的所有预测都有着很大的不确定性。

11. 核动力在非电力生产应用中的利用今后可能会增加，诸如用于海水淡化、区域供热、工业应用和煤炭液化的工艺加热及氢生产等。核动力通过其对运输部门作出间接贡献，如通过促进电动车和火车的使用，可能为减少温室气体排放作出更大的贡献。

扩大核电利用的挑战

12. 核电的增长和扩大前景取决于能否应对一些挑战，包括：

- 能否在实现核电厂的安全性和可靠性上常备不懈；
- 能否加强经济竞争力；
- 能否建立和保持公众对核电的信任；
- 能否保持和发展职工队伍的必要能力；
- 能否持续成功地管理乏燃料和放射性废物；
- 能否证明能够成功地最终处置乏燃料和高放废物；
- 能否管理和接受核燃料的运输；
- 能否维持对核不扩散和核保安的信任；

- 能否在引进核电的国家建立可接受的基础结构；
- 能否完成适合具体国家并得到证明的反应堆设计；
- 长远而言，能否有效和可持续地利用资源。

13. 核供应者的工业能力在过去 20 年中普遍下降。不仅反应堆设计人员和反应堆的选择性减少，具有实施大型核电项目经验的工程技术人员和项目管理组织也出现减少。即使在一些拥有成熟核计划的国家，招聘、培养和培训所需工作人员和获得所需经验以支持核工业增长和发展的困难也可能使增长计划受阻。

14. 表示对引进核电感兴趣的许多国家目前还没有必要的基础结构。它们可能需要一定的时间和资源来建立核电厂建设所需的适当能力。将来的挑战可能包括体制创新和改进核工业的运作方式，包括可能共享设计许可证核准资料、共用包括燃料循环设施在内的地区核基础设施以及建立国际处置库。

15. 可通过实施快堆和闭合燃料循环加强资源调动和燃料的高效利用。这种系统可对乏燃料中的铀和钚进行再循环，并且更充分地利用铀资源，同时减少废物中的长寿命放射性核素。一些国家仍担心这种战略的扩散危险和潜在的环境危险。

16. 对引进首座核电厂感兴趣的许多国家大多希望采用已得到证明的设计。许多有兴趣引进核电的国家的电网目前都太小，不适合当前可供部署的大型（1000 兆瓦（电）或更高）反应堆。

17. 渐进式反应堆设计的主要目标是实现更大的可靠性和安全性、纳入现代技术、缩短建造工期、降低基建费用及便于许可证审批和选址。近期内，大多数新核电厂都将采用渐进式设计。从较长远看，采用的设计可望缩短建造工期，降低基建费用，并将实行新的燃料循环和废物管理战略。

18. 国际合作可有助于抵消技术开发成本，特别是革新型系统或长远系统的开发成本。“第四代国际论坛”和原子能机构“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”这两项主要国际努力均有助于参项成员国对新的技术发展和核能将如何成为一种可行选择和未来能源结构的组成部分进行评定。

19. 俄罗斯联邦以建立安加尔斯克国际铀浓缩中心为第一步的发展全球核电基础结构的倡议和美国的“全球核能伙伴关系”倡议的目的都是为那些对在世界范围内为和平目的以安全和可靠的方式发展核能的必要性有着共同认识的国家提供了一种联系。

A. 导言

20. 本报告简要审查了全球核能利用的现状、核电厂的现有可利用技术和配套燃料循环。

21. 本报告还根据原子能机构掌握的各国在核能应用意图方面的资料审查了今后核能应用的前景。

22. 本报告叙述了现有和未来的核电国家所面临的各种挑战以及可能促进未来核电利用的一些问题，然后叙述了为应对这些挑战而发展反应堆和燃料循环技术的情况。

23. 成员国在大会第五十届常会期间要求并在大会第五十一届常会期间再次强调要求“秘书处自 2008 年起每两年单独提供一份关于国际核电状况与前景的全面报告”（GC(51)/RES/14 号决议）。本报告即是响应该要求而的编写。

B. 核电的现状

B.1. 核能利用

24. 目前，核能生产的电力占世界总电力供应量的约 14%，提供了世界范围内所用能源总量的约 6%。

25. 能源生产总量和人均能源利用量正在增加。从 1970 年至 2006 年，世界能源总需求量增加了 2.5 倍，从 6181 吉瓦/年增至 15 311 吉瓦/年（从 195 百万兆焦耳增至 483 百万兆焦耳）¹。在过去的几十年中，电力在能源生产总量百分比中的份额也有所增加。

26. 图 B-1 显示了这一时期不同能源对全球能源平衡的贡献率。核电份额从 1970 年的不到 0.5% 增至 20 世纪 90 年代的 7% 强，然后又降至 2006 年的 6%。化石燃料仍是最主要的能源。

27. 核动力自 1954 年以来一直被用于生产电力向公众输送。从那时起，已有 32 个国家运行核电厂²。目前，共有 30 个国家运行着总计 439 座核电厂，总容量为 372 吉瓦（电）。此外，还有 34 台总容量为 28 吉瓦（电）的机组正在建造之中（截至 2008 年 6

¹ 100 万兆焦耳等于 2.78×10^5 吉瓦·时或 31.7 吉瓦·年。

² 阿根廷、亚美尼亚、比利时、巴西、保加利亚、加拿大、中国、捷克共和国、芬兰、法国、德国、匈牙利、印度、意大利、日本、哈萨克斯坦、大韩民国、立陶宛、墨西哥、荷兰、巴基斯坦、罗马尼亚、俄罗斯联邦、南非、斯洛伐克、斯洛文尼亚、西班牙、瑞典、瑞士、英国、乌克兰、美国、利合众国。

月 26 日)。2007 年期间，核动力共生产了 26 080 亿度电。核工业现已拥有 13 000 堆-年的经验。

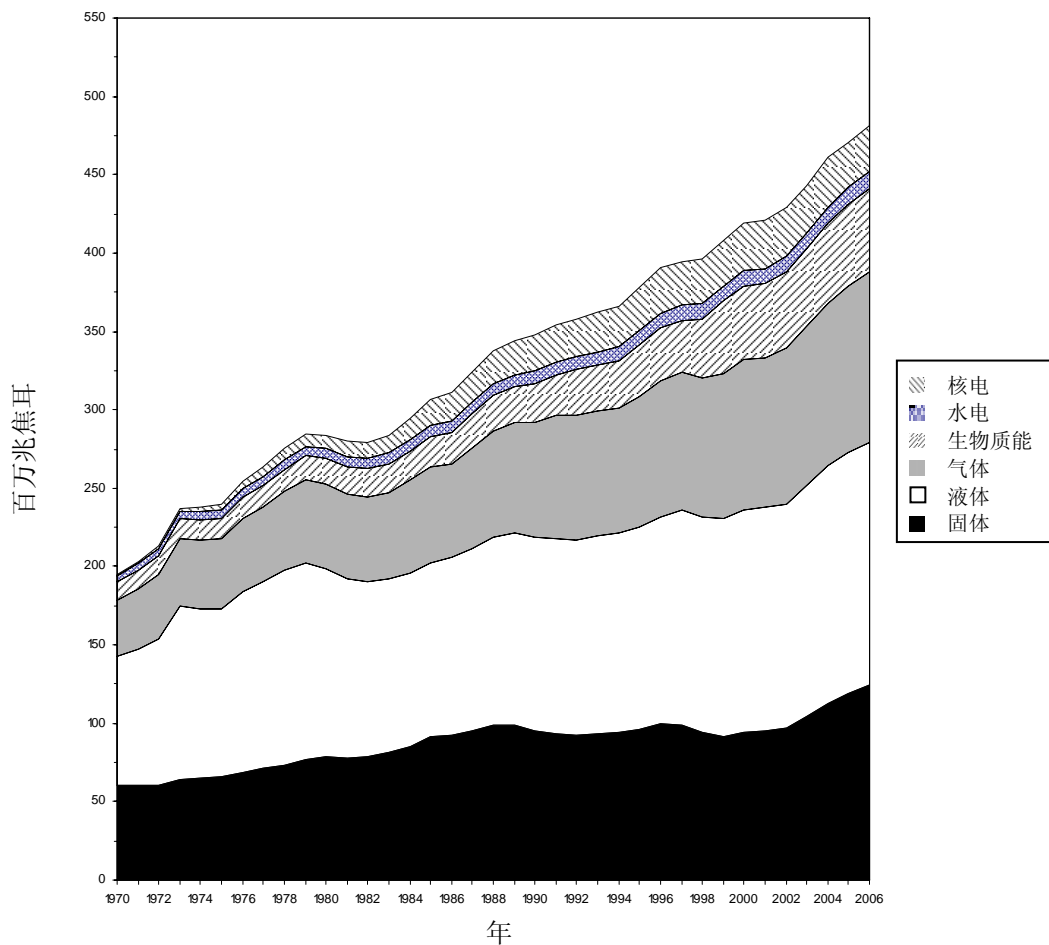


图 B-1. 1970—2006 年各种能源在世界能源生产总量中的份额

表 B-1. 2006 年各种燃料在电力生产中的利用量（百万兆焦耳）及百分比贡献率（%）

地区	热能 (a)		水电		核电		可再生能源 (b)		总计	
	利用量 (百万兆焦耳)	%	利用量 (百万兆焦耳)	%	利用量 (百万兆焦耳)	%	利用量 (百万兆焦耳)	%	利用量 (百万兆焦耳)	%
北美	22.21	65.71	2.43	14.53	9.61	18.99	0.63	0.77	34.87	100.00
拉丁美洲	4.42	38.28	2.46	58.31	0.33	2.61	0.32	0.81	7.54	100.00
西欧	15.56	52.32	1.72	15.86	9.56	29.14	0.53	2.68	27.37	100.00
东欧	17.36	64.95	1.12	17.21	3.51	17.80	0.02	0.05	22.01	100.00
非洲	4.89	80.01	0.35	17.74	0.11	1.84	0.04	0.41	5.4	100.00
中东及南亚	14.42	82.42	0.64	15.51	0.20	1.57	0.02	0.50	15.28	100.00
东南亚及太平洋	5.81	88.17	0.26	10.73			0.21	1.10	6.28	100.00
远东	32.61	75.65	2.04	12.50	5.70	11.52	0.47	0.33	40.83	100.00
世界总计	117.27	66.46	11.02	17.46	29.03	15.18	2.26	0.89	159.83	100.00

注： (a) “热能” 栏系固体、液体、气体、生物质能和废物的总和。

(b) “可再生能源” 栏包括地热、风能、太阳能和潮汐能。

28. 核能对电力生产总量的贡献率因地区而异（表 B-1 和表 B-2）。在西欧，核能发电占总发电量的近 30%，在北美和东欧占约 18%，而在非洲和拉丁美洲分别占 1.8% 和 2.6%。在远东，核能占电力生产总量的 11.5%，在中东及南亚则占 1.6%³。核能利用集中在技术先进国家。

表 B-2. 世界核动力堆（2007 年底）

地区	在 运		在 建		2007年核电厂供应的 电力（太瓦·时）
	反应堆数量	净容量 （兆瓦（电））	反应堆数量	净容量 （兆瓦（电））	
北美	122	113 171	1	1 165	895
拉丁美洲	6	4 090	1	692	28
西欧	130	122 638	2	3 200	827
东欧	68	47 765	10	7 445	325
非洲	2	1 800			13
中东及南亚	19	4 207	8	4 125	18
远东	92	78 531	11	10 566	502
世界总计	439	372 202	33	27 193	2 608

29. 1990 年至 2004 年期间，核发电量总计增加了约 714 太瓦·时（约 40%），这归因于三个因素的结合，即现有核电厂可利用率的提高、新核电厂的建造和现有核电厂出力的提高。可利用率的提高是首要促进因素（从 72.3% 增至 83.2%），占增量的 57%。新建核电厂居次（36%），最后是核电厂出力的提高（7%）（表 B-2）。

30. 自切尔诺贝利事故以来，工业安全记录已显著改善⁴。非计划自动紧急停堆已从 1990 年每临界 7000 小时的 1.8 降到 2007 年每临界 7000 小时的 0.55⁵。可利用率和安全记录得以提高的部分原因是通过实施基于风险的监管和进行工业整合加强了对核工业最佳实践和经验教训的信息共享。

³ 东南亚及太平洋地区没有核电厂，故核能在这地区的电力生产中不占份额。

⁴ 《2007 年核安全评论》，2008 年 1 月 21 日 GOV/2008/2 号文件。

⁵ 世界核电营运者联合会，《2007 年实绩指标》，2008 年。

1990 年至 2004 年

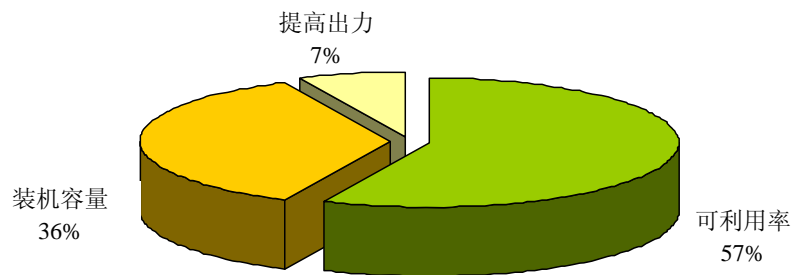


图 B-2. 核电生产增加的贡献率

B.2. 现有反应堆技术

31. 虽然今天仍在广泛使用不同的技术，但当前在运的反应堆大多都是轻水堆。在在运的商业反应堆中，约 82% 是轻水慢化⁶和冷却堆；10% 是重水慢化轻水冷却堆；4% 是水冷和石墨慢化堆。两个反应堆机组是液态金属慢化和冷却堆。表 B-3 显示了当前在运核电厂的数量、类型和净发电容量。除了下文清单上的国家外，还有国家也运行过快堆，但目前已经关闭。

32. 从图 B-3 可以看出，当今在运的全部反应堆中，约四分之三已运行 20 多年，四分之一已运行 30 多年。通过核电厂寿期管理计划，许多核电厂已将其原定运行期延长，允许它们再继续运行最多 20 年。老化反应堆面临着材料降质和技术过时的问题，如在仪器仪表和控制方面。实施电厂寿期管理的目的是应对这些问题以提高投资回报率，并且由于经验显示了良好的运行实绩，实施寿期管理也是为了延长电厂的许可寿期。

33. 世界各地正在运行的大多数核电厂都是 20 世纪 60 年代晚期和 70 年代设计的，目前都不进行商业性提供。反应堆设计在规模上一直逐渐扩大，以便利用规模经济提高竞争力。于 20 世纪 50 年代开始商业运行的许多最早期的反应堆都是 50 兆瓦（电）或更小的反应堆。当前正在运行的这批核电厂均在不到 100 兆瓦（电）至 1500 兆瓦（电）规模。2006 年在运反应堆的平均规模为 850 兆瓦（电）。

⁶ 一些轻水堆是石墨慢化堆。

表 B-3. 当前的反应堆类型分布情况

国家	PWR		BWR		GCR		PHWR		LWGR		FBR		总计	
	数量	兆瓦 (电)	数量	兆瓦 (电)	数量	兆瓦 (电)	数量	兆瓦 (电)	数量	兆瓦 (电)	数量	兆瓦 (电)	数量	兆瓦 (电)
阿根廷							2	935					2	935
亚美尼亚	1	376											1	376
比利时	7	5824											7	5824
巴西	2	1795											2	1795
保加利亚	2	1906											2	1906
加拿大							18	12610					18	12610
中国	9	7272					2	1300					11	8572
捷克共和国	6	3619											6	3619
芬兰	2	976	2	1720									4	2696
法国	58	63130									1	130	59	63260
德国	11	13973	6	6457									17	20430
匈牙利	4	1829											4	1829
印度			2	300			15	3482					17	3782
日本	23	18420	32	29167									55	47587
朝鲜民主主义 人民共和国	16	14824					4	2627					20	17451
立陶宛									1	1185			1	1185
墨西哥			2	1360									2	1360
荷兰	1	482											1	482
巴基斯坦	1	300					1	125					2	425
罗马尼亚							2	1305					2	1305
俄罗斯	15	10964							15	10219	1	560	31	21743
斯洛伐克	5	2034											5	2034
斯洛文尼亚	1	666											1	666
南非	2	1800											2	1800
西班牙	6	5940	2	1510									8	7450
瑞典	3	2819	7	6215									10	9034
瑞士	3	1700	2	1520									5	3220
英国	1	1188			18	9034							19	10222
乌克兰	15	13107											15	13107
美国	69	66697	35	33885									104	100582
总计	265	243421	94	85275	18	9034	44	22384	16	11404	2	690	439	372208

总计中包括中国台湾的 6 台机组，计 4921 兆瓦

2007 年期间，3 座反应堆新并入电网，计 1852 兆瓦（电）。

PWR：压水堆、BWR：沸水堆、GCR：气冷堆、PHWR：加压重水堆、LWGR：轻水冷却石墨慢化堆、FBR：快中子增殖堆。

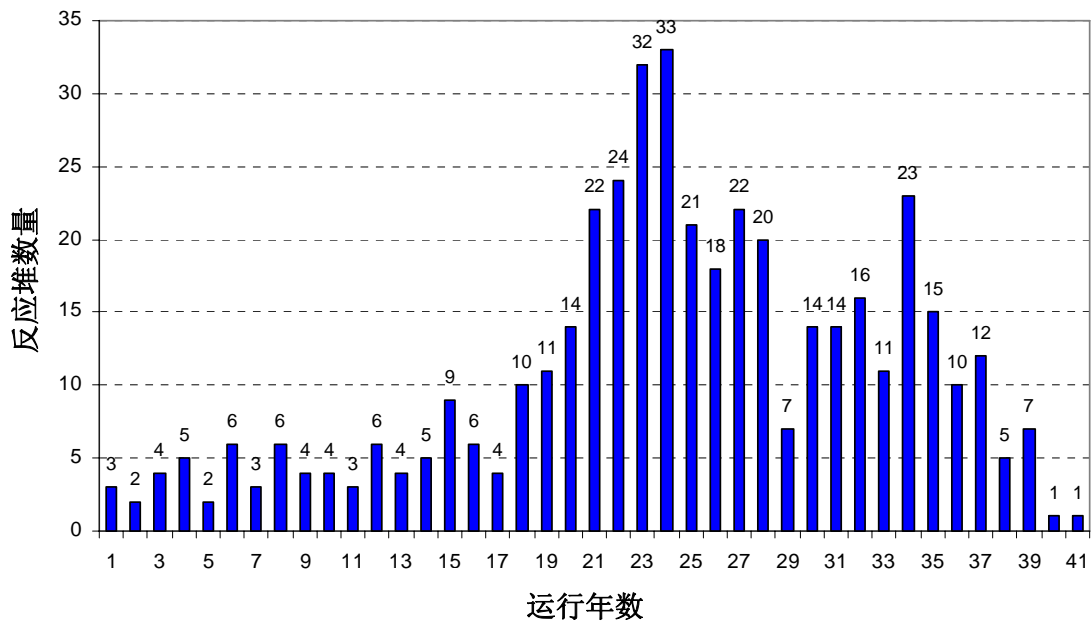


图 B-3. 截至 2008 年 1 月按堆龄分列的在运核电厂数量
(注：堆龄以反应堆首次并入电网的日期计算)

34. 目前可供使用的反应堆技术基本上基于以前的设计并考虑到下列设计特点：

- 60 年寿期
- 维护简化 — 在运维护或停运期间维护
- 更容易建造或建造工期更短
- 在最早设计阶段即纳入安全性和可靠性考虑因素
- 现代数字控制和人-机接口技术
- 以风险评定为指导的安全系统设计
- 力求简单，减少旋转部件的数量
- 更多地依靠非能动系统（重力、自然循环、累积压力等）
- 增加能够减轻严重事故的设备
- 完整而标准化的设计和许可证预审批

35. 虽然核工业历来不遗余力地追求规模经济，但小型（低于 300 兆瓦（电））和中型（300 兆瓦（电）至 700 兆瓦（电））反应堆的部署一直持续不断。中小型反应堆可以进行增量投资。目前发展中小型反应堆的目的是：(a) 供互联性有限的小电网如一些发展中国家现有的电网使用；(b) 作为孤立地区的电力来源或多用途能源来源；(c) 便于增量投资，以避免金融风险。

B.3. 人力资源

36. 虽然无论原子能机构还是其他国际组织都不收集全面的统计数据，但估计 2007 年世界各地在运核电厂所雇用的总人数超过了 25 万人。估计 2007 年世界各地有 100 多万人从事为核工业提供支持的工作，就业于新核电厂的建造、工程和技术支持、培训和教育、监管机构、政府部委、研究与发展、放射性废物管理、辐射防护、设计和制造、停堆支持、燃料供应和其他服务，有的则是通过供应承包商从事这方面的工作。当前的核职工队伍正在老化，其中许多部门由于职工的退休而面临着经验丰富人员的匮乏和知识与经验的丧失，即使是在有着成熟核计划的一些国家也是如此。

37. 有鉴于此，核工业和监管部门的知识保存和人员征聘是颇为重要的问题。核技术的复杂性需要受过良好教育和专门培训的职工队伍。近年来出现了促进核工业教育和培训的趋势，尽管开展此种专门教育和培训的资源有限，也尽管核工业一些岗位获得适当培训需要长达 10 年的时间。在一些国家，政府对发展学术计划和招收学生学习核领域专业采取了激励措施。还建立了用于信息共享的地区网络，营运者之间的联网也得到加强。这些努力的目的除其他外，特别是为了弥合随着职工队伍的更新和扩大而出现的经验不足。

B.4. 燃料循环活动

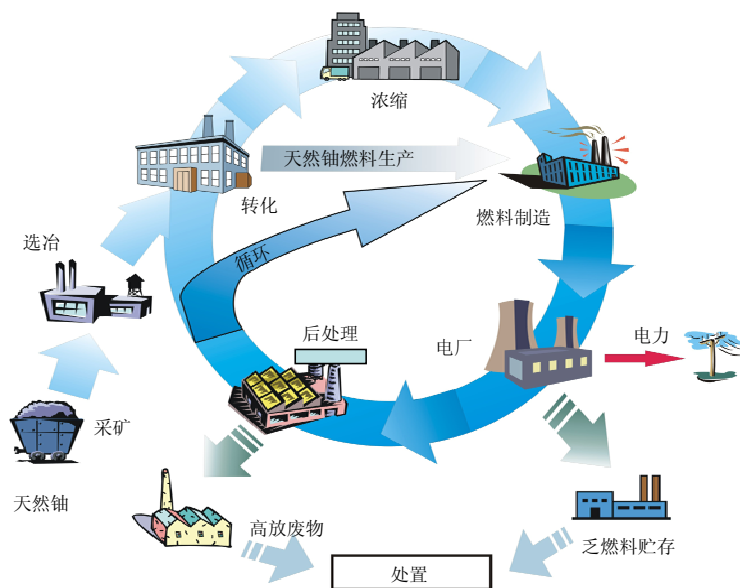


图 B-4. 燃料循环

38. 制造反应堆燃料和管理使用后的燃料（燃料循环）需要如图 B-4 所示的几个步骤。这些步骤通常分为生产供插入反应堆的燃料组件⁷的前端活动（采矿、转化、浓缩和燃料制造）和进行乏核燃料管理（包括贮存、后处理和废物处置）的后端活动。

⁷ 大多数反应堆都使用富集度在 2—5% 的低浓铀。有些反应堆（加压重水堆）不使用浓缩铀。

前端活动

39. 目前存在一个成熟和有效的提供各种前端服务的市场。大多数活动都是通过长期合同开展，但也存在着现货市场。

40. 共有 18 个国家从事铀开采，其中七个国家⁸的采矿量占到世界总采矿量的 90%。目前，40%的铀需求由二次供应（贮存铀或退役军用材料）和再循环材料满足。这使得铀价一直保持在低位，但近来，由于预期需求将会增加而二次供应将会减少，价格出现了显著增长（五年中增长了约 10 倍）。价格的上涨也刺激了采矿量和铀勘探的增加，而这可能导致铀价格的下降。按当前需求计算，已探明的地下铀资源足以满足近 100 年的需求。

41. 所开采的材料通过一个被称为转化的过程转化为供核工业其他部分使用的化学材料，一般是六氟化铀。全世界 90% 以上的转化能力集中在六个国家⁹，全世界的转化能力目前约为需求的两倍。适合燃料制造的低浓六氟化铀在市场上被作为商品对待。

42. 当前的浓缩能力足以满足今后 10 年的需求。基于气体扩散技术的老厂正在被基于需要输入能量更少的离心技术的工厂所取代。为应对预期的需求增长，法国和美国正在建造这种离心厂。

43. 作为反应堆主要能源生产部件的燃料组件是一种技术含量极高并涉及大量知识产权的特定产品。此外，燃料组件本身也是核电厂总体安全的一个组成部分，需要广泛的许可证审批。不同供应商提供的燃料组件不易互换，尽管许多设施定期更换供应商以保持竞争力。主要燃料制造商也是核电厂或与核电厂密切相关的主要供应商。虽然法国、德国、俄罗斯联邦和美国拥有最大的燃料制造能力，但是至少还有七个其他国家也能进行燃料制造，不过它们一般都需要主要供应商的许可证授权。

后端活动

44. 一些国家视乏燃料为废物，将它们作为高放废物处置。其他国家则视之为可进行后处理和潜在重复利用的资源。现已存在进行铀钚混合氧化物燃料后处理和制造的市场，但还没有贮存或处置市场。

45. 无论是哪种战略，都是首先将乏燃料贮存在反应堆水池中，然后再在反应堆场址加以单独贮存或贮存在中央设施中。虽然大多数燃料都贮存在水池中，但目前的做法越来越多地是使用模块式干法贮存设施，如屏蔽容器或地库。预期贮存期的长短取决于何时可以运出燃料供进行后处理或处置。预计大多数国家的贮存期都将长达几十年。

46. 目前，乏燃料总量中约有 15% 被进行后处理，以便进行铀钚回收和再循环。法

⁸ 澳大利亚、加拿大、哈萨克斯坦、纳米比亚、尼日尔、俄罗斯联邦和乌兹别克斯坦。

⁹ 加拿大、中国、法国、俄罗斯、英国和美国。

国、日本、俄罗斯联邦和英国都开展后处理活动，印度也进行一些加压重水堆燃料的后处理。由于后处理材料在将来的用途还存在不确定性，故现有后处理能力仅有约 50% 得到了利用。目前主要在轻水反应堆实施铀和钚的再利用（作为混合氧化物燃料），但为了通过闭合燃料循环实现铀资源的最佳利用，一些国家正在积极考虑实施快堆或其他先进系统。闭合燃料循环还可导致废物的放射性毒性减少。目前，大部分经过后处理的材料都处于贮存状态。

47. 无论燃料是否经过了后处理，都会产生一些需要进行可靠处置的高放和长寿命废物。在许多情况下，废物经后处理后会送回该燃料的使用国。目前，同乏燃料一样，此种材料也是被贮存起来。

B.5. 放射性废物管理和退役

48. 放射性废物产生于燃料循环的不同阶段，可能以放射性液体、气体或固体的形式产生，并且其活度水平可能存在很大差异。根据活度水平及以后管理和处置方式的不同，放射性废物被划分为低放、中放或高放废物。各类废物的处理、整备和长期贮存技术均已成熟，这些一般都在产生该废物的核设施中进行。贮存期长达 50 年甚至更久并非不正常。这可保持处置决定的灵活性。

49. 一些国家以工业规模进行中低放废物的处置，技术专家也广泛认为所用技术满足了安全要求。但也有一些拥有在运核电站的国家尚未能进行中低放废物处置设施的选址和建造，其主要原因是还没有得到政治上的认可和公众的接受。

50. 技术专家广泛认为，高放废物和乏核燃料的最终处置办法可能是将它们放入深部地质处置库。虽然目前还没有任何深部地质处置库投入使用，但芬兰、法国、瑞典和美国的开发工作已取得很大进展。经验表明，进行地质处置库的选址和建造需要几十年的时间，因此没有一个处置库有可能在 2020 年以前投入运行。

51. 随着动力堆的寿期走向结束，需要将它们退役。由于反应堆的一些部件受到了放射性污染，因此需要在控制下将它们拆除，并对放射性废物加以妥善处理。拆除的时间取决于若干因素，如辐射防护考虑、有无资金可供支配和有无处置设施可供使用。根据原子能机构的统计数据，迄今已关闭了 117 座动力堆，其中，10 座已彻底拆除，其场址已解除监管，可不受限制地作为公共用地使用；32 座正处于最终解除场址监管前的拆除过程；17 座已部分拆除并被安全地封闭以便进行长期贮存；另有 34 座正在进行长期封闭前的拆除。其余的反应堆正在进行退役准备，包括移出乏燃料和进行去污。退役产生的放射性废物为低放废物和中放废物，对其可相应地处理和处置。对于一些庞大的部件，已成功采取特别方案，如实施完整处置方案。

B.6. 工业能力

52. 在建核电站数量在 1979 年达到高峰，为 233 座，而过去 15 年中的数量为 30—40 座（见图 B-5）。核系统供应工业根据过去大约 25 年的情况，通过整合进行了调整。现在产生的问题是：如果核电高增长预测变为现实，将是否有能力满足近期需求。

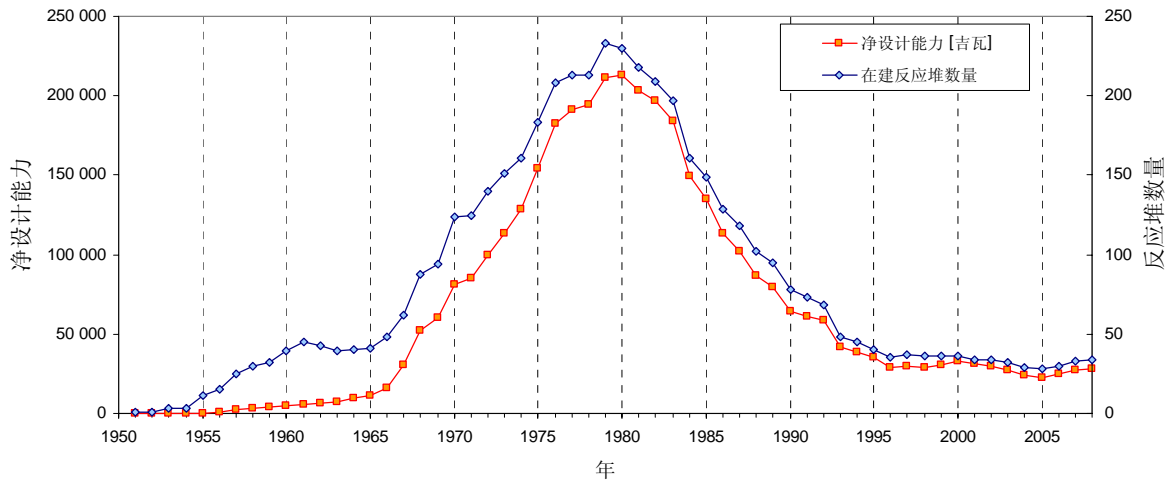


图 B-5. 1951—2008 年期间在建反应堆的数量和反应堆的总装机容量

53. 在建造高峰时期，加拿大、法国、德国、日本、俄罗斯联邦、瑞典、瑞士、英国和美国都有大型核系统供应公司。目前，加拿大、中国、法国、印度、日本、大韩民国、俄罗斯联邦和美国均有核系统供应商。还有一些潜在的、已制订发展计划的供应商，如阿根廷和南非，但核蒸汽供应系统现有设计者的数量已经缩减，它们正越来越多地开展非常密切的合作，如阿雷瓦公司和三菱公司、通用电气公司和日立公司以及东芝公司和西屋公司之间的合作。

54. 工程公司也发生了类似的变化¹⁰。最近在管理完整核电厂的建造方面拥有经验的公司数量已经减少，原因是定单减少，特别是在北美和欧洲。1980 年曾是核工业领域主要组织的许多公司有的已完全放弃核业务，有的与核领域其他公司进行了合并，有的则将业务方向转移到了过去几年中业务量见长的与退役和废物管理有关的活动上。这导致能够进行完整核电厂建造管理的公司和拥有这类公司的国家都出现减少。而中国、印度和大韩民国则通过实现许多技能和能力的本地化提高了核能力，因此，这些国家有可能为满足世界上对核建造专门知识的需求作出进一步的贡献。

55. 有一些证据表明可以对核工业满足关键部件（如压力容器和关键锻件）需求的能力感到担忧，中国、捷克共和国、法国、日本、大韩民国和俄罗斯联邦的设施都能供应这类部件。例如，美国的电力公司已经为尚未获得批准的核电厂发出关键部件的定单，以确保这些部件的交货延误不会耽误建造工期。如要满足对新核电厂增长越来越大的预期，就需要提高制造能力。这也许已经发生。中国已宣布，它有能力每年为六座大型反应堆生产重型设备，尽管这在满足了其本国的需求之外已所剩无几。

B.7. 非电力应用

56. 世界能源的大部分被用于供热和运输。核能目前只在非常有限的程度上被用于非电力应用。利用核能进行海水淡化已得到验证，世界范围内已积累了近 200 堆-年的运

¹⁰ “工程公司”一般负责项目管理、采购、项目工程、安装、调试、质量控制以及建造和启动阶段的计划安排和成本控制。

行经验。地区供热涉及通过输送系统供应热量和热水，而这通常以热电联供方式提供。以此方式，电力生产中产生的余热被用作地区供热的来源。若干国家（保加利亚、匈牙利、罗马尼亚、俄罗斯联邦、斯洛伐克、瑞典、瑞士和乌克兰）已经在使用核电厂产生的热量进行地区供热。关于核氢生产，日本、美国和其他一些国家已制订研究与发展计划，但尚无商业运行。

C. 核能今后的应用前景

57. 许多国家近来对核能应用的期望日益增加。这种前景可以从目前一直在运行的核电厂的国家以及正在考虑引进核电的国家加以考虑。在下文中，还将对影响国家核能应用立场、核能今后利用国际预测和核能非电力应用潜力的潜在推动因素进行讨论。

C.1. 在已经利用核电国家的前景

58. 在正在运行核电厂的 30 个国家，核电厂所提供的国家电力的份额从占法国电力的 78%到占印度电力的 3%和占中国电力的 2%。预期今后全球核电发展将主要取决于已经拥有核电的国家。正如下文将要讨论的那样，原子能机构低值核电预测和高值核电预测之间的差别在于已经拥有核电的 30 个国家的总装机容量和拥有核电的国家数量增长这两个方面。就装机容量而言，高值预测下的全球增长主要来自已经拥有核电的 30 个国家的增长，特别是印度、中国、远东其他国家，加上俄罗斯联邦以及欧洲和北美的有关国家。

59. 作为从当今拥有核电的 30 个国家可以预期的情况的一种测评，表 C-1 对现已获得的资料进行了评述。这些资料包括成员国在 2007 年大会上的专题介绍和表述其立场的其他公开资料。据此，现有核计划的扩展目前主要集中在亚洲，预期最大的能源需求发展也在那里。欧洲和北美的许多国家也希望扩大其核计划，但新的建造项目还开工不多。

60. 将这 30 个国家中的每个国家归入表 C-1 中所列组别之一，以此表明已经拥有核电的这 30 个国家预期的今后打算。

表 C-1. 拥有在运核电厂国家的状况

组别描述	国家数量
打算在当前的核电厂达到其寿期或达到商定的累积功率输出时逐步取消核电厂	6 个
打算允许提出新电厂申请，但将不采取激励措施鼓励这样做	5 个
打算支持引进新电厂	6 个
支持建造新电厂	4 个
支持制订新的核电厂建造计划	9 个

C.2. 在考虑引进核电国家的前景

61. 如表 C-2 所示，在过去的两年中，约有 43 个国家已通过请求参加技术合作项目向原子能机构表示有兴趣考虑引进核电。¹¹

表 C-2. 无在运核电厂国家的状况

组别描述	国家数量
虽无引进核电厂的计划，但有兴趣考虑与核电计划相关的问题	16 个
考虑利用核计划满足确定的能源需求，并坚定地表示打算着手进行	14 个
为可能实施核电计划积极进行准备，但并未作出最后决定	7 个
已决定引进核电，并开始准备适当的基础结构	4 个
已准备核电厂招标书	1 个
已订购新核电厂	
正在建造新核电厂	1 个

62. 伊朗伊斯兰共和国正在建造它的第一座核电厂。有 12 个国家正在为核电积极进行准备，还有 38 个国家已对可能引进核电厂表示了兴趣。

63. 在表示有兴趣引进核电的 51 个国家中，17 个来自亚洲及太平洋（从中东至太平洋）地区，13 个来自非洲地区，11 个来自欧洲，还有 9 个来自拉丁美洲。

64. 总的看，表 C-1 和表 C-2 与下文叙述的原子能机构低值预测和高值预测中反映的趋势是一致的，即在有关核电的预测中仍存在着很大的不确定性；核电利用的预期增长更多的是由拥有成熟核电国家的发展所驱动，其后是开始启动核电计划的国家；以及在高值预测中，约有另外 20 个国家可能在 2030 年前将其第一座核电厂投入运行，而在低值预测中则有五个这样的国家。

C.3. 地区协作

65. 在一些地区正在规划引进新核电厂的合作行动。波罗的海国家正在规划在立陶宛 Ignalina 厂址实施的地区项目。海湾合作委员会成员国正在考虑引进核计划的地区方案的可能性。均拥有现行核电计划的阿根廷和巴西计划在核领域增加合作，包括为两国以及可能的话为该地区其他国家拟订一个示范核电厂概念。

C.4. 引进核电的潜在推动因素

66. 在一个面临能源需求方兴未艾、能源价格上涨、能源供应安全关切和环境压力增加的世界，“日益增加的期望”这一措辞最充分地代表了当前核电前景的特点。有若干因素助推了这种对核电增长日益增加的期望，其中包括：

¹¹ 此外，还有 10 个国家先前已表示有兴趣考虑核电，但并未提出正式的技术合作援助请求。

- 不断增长的能源需求
- 能源供应安全
- 环境关切和制约
- 化石燃料价格不断攀升和起伏不定
- 核电的相对经济竞争力增强
- 核电的长期经验和良好实绩
- 对先进核能应用的兴趣

67. 本节对这些核电增长的潜在推动因素进行了一般分析，同时也认识到核电较之可替代能源的相对吸引力在不同情况下将有所区别。一般而言，凡在能源需求增长迅速、可替代能源缺乏或昂贵、能源供应安全高度优先、减少空气污染和温室气体排放系优先事项，或资金来源能够有较长期保证的地方，核电都具有较大的吸引力。

化石燃料价格

68. 据国际能源机构的《2007 年世界能源展望》，2005 年世界电力的 40% 产自煤炭，20% 产自天然气、16% 产自水电、15% 产自核电、7% 产自石油以及 2% 产自除水电以外的可再生能源。石油在电力生产中所占份额预计将下降，而煤炭和天然气两者的份额预计将增加。它们将是近期和中期替代核电的主要能源。煤炭价格起伏不定，2003 年至 2006 年间在世界不同地区上升至 50% 和 125% 之间。同样，天然气价格在同一时期也上涨到高达 130%。这些变化是促进对核电日益增加的期望的一个因素。铀价也在攀升，而且在最近几年一直起伏不定。但一个区别是铀的成本在总发电成本中所占份额与天然气和煤炭的成本相比较小。燃料价格的翻番使燃煤发电的成本增加了约 35—45%，就天然气发电而言，则增加了 70—80%。相反，按当前的价格水平，铀价翻番仅使核发电成本增加约 5—10%。

能源安全

69. 在 20 世纪 70 年代石油危机时，对能源供应安全的关切在法国和日本的核发展计划中是举足轻重的。这些关切是当今在考虑核电的国家提出的有关争论之一。例如在英国，能源供应安全是重新评定国家能源形势的一个重要问题，也是过去两年来核电方案改变的一个主要因素。

70. 此外，核电还有两个总体上进一步增强其弹性的特点。铀这种基本燃料可以从不同生产国获得，而且所需要的体积小，从而使得更易于建立战略储备。实际上，几年来的趋势一直是从战略储备转向基于功能健全的且具多元化的铀和燃料供应服务市场的供应安全。但是，建立相对低成本的战略储备使得能够贮存供核电厂运行若干年的足够燃料的方案仍然可为认为这种做法非常重要的国家所采用。

环境

71. 就发电这一点而言，核电并不产生任何损害当地空气质量、造成区域性酸化或引起气候变化的排放。从资源开采到废物处置包括反应堆和设施建设的整个核电链排放出与风力发电和水电相同的每千瓦小时当量的碳。核电越来越经常地被引证为是一种替代温室气体排放能源的积极的技术方案。在“京都议定书”于 2005 年 2 月生效以后，核电的低温室气体排放被赋予了具体的经济价值。在政府间气候变化小组评定的九个发电缓解技术中，核电具有最大缓解幅度的潜力而且其缓解成本范围位居第二最低排名（排在水电之后）。但应当指出的是，即便拥有最具雄心的全球核发展计划，核电的增长也不能单独使世界范围的温室气体排放保持稳定。

实绩和安全记录

72. 近年来，实绩和安全记录得到显著改进并保持高水平¹²，而且运行良好的核电厂已证明效益颇丰。全球平均能量可利用因子的提高和反应堆非计划停堆数量的减少反映了这种改进。¹³ 但在这两个领域，对许多运营者来说仍有改进的余地，这应当导致总体上进一步改进。过去 20 年来良好的安全和实绩记录、所致效益的增长和对改进的进一步希望均促进了对核电期望的日益增加。

C.5. 核电增长预测

73. 由于以上原因，最近几年目睹了若干组织定期发表的对核电预测的普遍增长。

74. 原子能机构自 1981 年以来每年都发表全球能源、电力和核电利用预测。¹⁴ 与涉及能源相关统计和预测的若干国际组织、地区组织和国家组织以及国际专家密切协作和磋商编制了有关估算值。表 C-3 给出了最近按世界各地分列的核发电容量最新预测。在低值预测中，核发电容量从 2007 年的 372 吉瓦（电）增长到 2030 年的 473 吉瓦（电）。在高值预测中，则增长至 748 吉瓦（电）。

表 C-3. 核发电容量估算值（吉瓦（电））

地区	2007 年	2010 年		2020 年		2030 年	
		低值	高值	低值	高值	低值	高值
北美	113.2	113.5	114.5	121.4	127.8	131.3	174.6
拉丁美洲	4.1	4.1	4.1	6.9	7.9	9.6	20.4
西欧	122.6	119.7	121.3	92.1	129.5	73.9	150.1
东欧	47.8	48.2	48.3	72.1	94.7	81.2	119.4
非洲	1.8	1.8	1.8	3.1	4.5	4.5	14.3
中东及南亚	4.2	7.6	10.1	12.5	24.3	15.9	41.5
东南亚及太平洋	0	0	0	0	1.2	1.2	7.4
远东	78.5	81.3	83.1	129.2	151.8	155.7	219.9
世界总计	372.2	376.3	383.1	437.4	541.6	473.2	747.5

¹² 《2007 年核安全评论》，2008 年 1 月 21 日 GOV/2008/2 号文件。

¹³ 世界核电运营者联合会《2006 年实绩指标》，2007 年。

¹⁴ 国际原子能机构《直至 2030 年的能源、电力和核电测算》，《参考数据丛书》第 1 号，2008 年。

75. 表 C-3 表明，预计远东的核发电容量将有最大的扩展。预计包括印度在内的中东及南亚地区也有显著的扩展。不确定性最大（即低值预测和高值预测之间差别最大）的地区是西欧。虽然在 2030 年将包括约 20 个引进核电的新国家，但高值预测下的全球增长主要来自已经拥有核电的 30 个国家的增长。低值预测也包括约五个可能在 2030 年前将其第一座核电厂投入运行的新国家。

76. 原子能机构的预测值在过去几年已经发生了改变。特别是，对 2020 年至 2030 年间核电厂装机容量增长率的高值预测比 2001 年所作的预测翻了一番，这反映了对一些地区的核电持有更加乐观的态度。2001 年的低值预测表明，由于电厂退役而没有替换，装机容量呈逐步下降趋势。目前，即便是低值预测也预计装机容量将持续小幅增长。

77. 其他研究也预测核电厂装机容量将增长。

78. 经合组织国际能源机构出版的《世界能源展望》也包括了对核电的定期更新预测。《世界能源展望》一向包括参考性假想方案，而不是像原子能机构那样进行低值预测和高值预测。替代假想方案往往也发表出来。参考性假想方案预测了在假定继续执行当前政策的情况下能源需求和供应的发展情况。因此，就核电而言，这种假想方案通常接近原子能机构的低值预测。近几年这种假想方案的预测值略有增加，而国际能源机构最新的“替代政策假想方案”因假定采取额外措施解决“能源-安全”和“气候-变化”关切而预测 2030 年核电的增长将比参考性假想方案的预测高出 25%。¹⁵

79. 其他预测表明今后核能利用的可能范围非常宽泛。世界核协会每两年出版对核发电容量的高、低和参考性假想方案。在世界核协会 2007 年最新方案中核发电容量的范围从 2030 年的 285 吉瓦（电）增至 730 吉瓦（电），高于原子能机构低值预测和高值预测的范围，这可能表明核电不是下滑就是翻番。

80. 2000 年，政府间气候变化问题小组发表了一套 40 种到 2100 年全球温室气体排放假想方案。这些假想方案给出了一套极具多样性的核电潜在前景。在大多数假想方案下，核电在全球一次能源供应中的份额从当前的 6—7% 增加到 10—40% 之间。政府间气候变化问题小组报告还得出结论认为，核电对全球电力结构的潜在贡献率在 2030 年可能达到 18%。这一数字与原子能机构对该年度的高值预测是一致的。

预测的不确定性

81. 从上文可见，有关核电今后利用的这些预测的范围仍然很广。有若干问题影响着核电计划的今后实施，并从而影响核电利用预测的准确性。

- 核电与替代能源相比产生了较强烈的政治激情。核电的替代能源（天然气、煤炭、水电、石油、可再生能源）无法与若干国家针对核电采取的禁止和逐步取消的政策相比较。

¹⁵ 国际能源机构《2007 年世界能源展望》，巴黎，2007 年。

- 由于核电厂的前期费用投入结构，高利率或利率方面的不确定性将使核电商业方案受到削弱的程度大于替代能源的情况。
- 核电的前期费用投入结构还意味着，对核电而言，建造期间监管方面延误的成本高于替代能源。在许可证审批过程近几年相对未经检验的国家，在核电方面与在替代能源方面相比，投资者可能面临着代价更高的监管风险。
- 对减少温室气体排放所作承诺的力度、宽度和持久性也将对核电发展产生影响。
- 核工业是一个具有良好国际合作关系的全球工业，因此，任何地方的事故影响在世界各地的核工业都将感受得到。
- 同样，核恐怖主义与针对其他燃料的类似恐怖主义相比，其影响程度可能更加深远。
- 虽然核电厂本身并不是导致扩散危险的主要因素，但对扩散的担忧能够影响核电的公众和政治上的接受。
- 在各种能源中，高放废物是核电所特有的。如果在任何最先进（即芬兰、法国、瑞典和美国）的处置库计划中遇到严重问题，核电工业可能会感受到极不相称的广泛影响。

C.6. 对非电力应用的期望和潜力

82. 核动力还能为各种工业过程（如造纸、化学和肥料生产和精炼厂等）或为能量载体（氢）的生产或（通过煤炭液化或从沥青沙中开采石油）为改进化石燃料的利用提供热量（或热电联供）。但如图 C-1 所示，当前的大多数反应堆（轻水堆）并不提供温度达到使得能够采用这些更多应用中的一些应用的蒸汽或可利用的热量。特别是，正如下文 F 节所描述的那样，高温反应堆和适当材料的利用很有必要，并且正在开发之中。

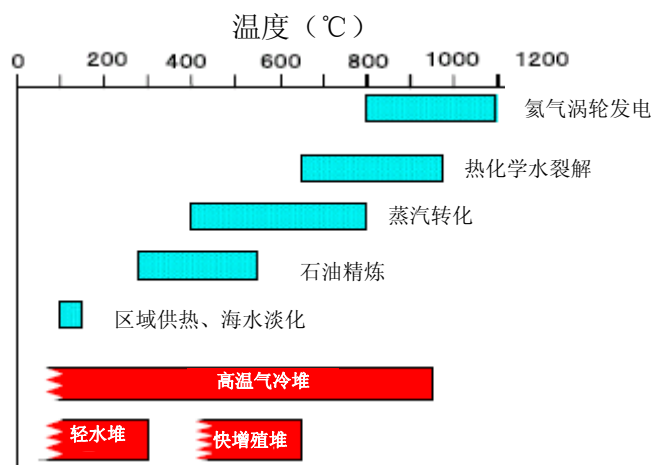


图 C-1. 运行温度范围和工艺热的要求

海水淡化

83. 目前，核能淡化海水只在数量非常有限的国家应用。联合国《世界水发展报告》所作预测指出，遭受供水紧张或水资源匮乏的人口到 2025 年可能增至 35 亿。因此，对海水淡化系统的需求可能起到推动饮用水匮乏的中东国家或非洲国家发展核动力的一个促进因素。目前，日本在 10 个核电厂运行着生产水的海水淡化系统，印度有若干示范项目在运行，而巴基斯坦、大韩民国和俄罗斯联邦正在从事设计和示范项目工作。其他国家也正在研究不同工艺的技术和经济可行性。

运输

84. 运输是温室气体排放的重要促进因素之一。如果核能够为运输部门作出进一步贡献，则将在这方面产生显著的影响。核动力能够为用于混合动力或电动车辆或公共交通工具的电力生产和氢的生产（见下文 E.3.节）作出越来越大的贡献。

D. 核发展的挑战

D.1. 近期核发展的关键问题和趋势

D.1.1. 安全性和可靠性

85. 安全性和可靠性对于有效的核电计划是至关重要的。有必要对核电厂的运行以及核电厂的准备和引进保持谨慎和警惕。无论在运行核电厂的国家，还是在今后将引进核电的国家，任何电厂的损坏、项目的重要延误或降低标准都可能对世界范围内核能利用的发展产生非常显著的影响。因此，如 E.1.1 节所述，努力降低建造成本和工期非常重要。

D.1.2. 经济竞争力和筹资

86. 核电厂与其他大型电厂相比，资本密集程度更高。在核发电总费用中，基本投资通过运行期间较低和更稳定的燃料费用来补偿。投资一般约占核发电总成本的 60%。由于在建设期间必须支付基本投资的利息，核电的竞争力对运行之前因许可证审批或法律问题、技术问题或获得专门知识、设备和部件问题所致建设延期非常敏感。

87. 影响核电经济竞争力的另一个近期问题是材料的费用。自 2007 年初以来，钢材或非铁金属等关键材料的价格增加了 50—100%，并取决于产地、质量和数量等。亚洲迅速发展的经济正在消耗原材料，并驱动钢材、混凝土和其他材料价格的上涨。虽然其他类型的电厂也受到同样的限制，但核电可能会感到比例失衡的影响，因为其费用是前期投入型的。在一些国家，影响核电经济竞争力的其他近期问题是因执行新的综合许可证审批监管程序和工业界经历数十年停滞正在恢复而容易延期。其他经济风险与运行阶段包括燃料费用、电力市场监管程度、电厂可靠性和实绩相关。

88. 核电的经济力取决于国家条件。经济竞争力取决于基本投资、监管环境、替代资源的可获得性和成本及能源成本，以及特定电力项目的商业方案。预测的新电厂核发电成本（包括电厂管理和运行以及燃料）在不同国家有达到两倍的很大变化，从约每兆瓦小时 30 美元到接近每兆瓦小时 70 美元。比较而言，天然气的发电成本从约每兆瓦小时 40 美元到每兆瓦小时 65 美元。在当前利用核电的大多数国家，预测的今后核发电成本低于天然气或煤的发电成本。经合组织核能机构的发电成本预测表明，在所考虑的 10 个国家中的七个，预测核电比煤电便宜 10% 或 10% 以上；而在九个国家，核电比天然气发电便宜 10% 或 10% 以上。¹⁶

89. 核电的一个特点是在电力生产之后需要实质性支出，并停止增收以便支付反应堆退役以及乏燃料和放射性废物管理费用。据估算，退役费用占到核电厂基本投资的 10—15%。直到在运处置库中最终处置的废物管理的总费用具有同样的数量级。核工业利用各种广泛的机制和制度来确保对这些费用进行估算，并在需要时提供必要的资金。一般来说，这些费用被认为是运行费用，而资金由运营者在电厂发电过程中收取。使废物管理和乏燃料计划的资金来源有保证是核电生产经济性的一个重要方面，也是核计划的总体安全和保安的一个重要方面。

90. 核电非常低的温室气体排放的外部优势目前对投资者并没有什么经济价值，但如果核电能够被纳入对这种排放施加限制或征税的机制内，则可能有所改变。如果核电有资格参与减少温室气体排放相关全球碳贸易制度，核电的经济竞争力在近期内将会得到改善。

D.1.3. 公众认识

91. 公众对核电认识侧重于对安全、扩散和废物管理的关切。在三里岛核事故和切尔诺贝利核事故后，公众不仅关切辐射对人类和环境的危险，而且也关切所提供信息的速度和准确性。对扩散和核恐怖主义的关切在公众对核电的认识中继续发挥作用。

92. 公众的认识还取决于某一社会的许多特定因素，如当地能源供应状况、国家核电经验和国家对环境考虑的认识等。公众对核电认识的改变一部分原因是过去 20 多年来核能的成功运行，而且也出于对核能够为减轻全球变暖作出有价值贡献的认识。退役和废物管理的成功经验可能也增强了公众的信心。在一些国家，公众认识在很大程度上可能受到缺乏实际和价格相宜的替代能源以及核电为提高其他国家的生活水平作出了宝贵贡献这种观察结果的影响。

93. 对于正在考虑或正在运行核电的任何国家，与所有利益相关者（决策者、公众、媒体和邻国）就围绕核电的所有有关问题（受益、风险、承诺和义务）进行公开交流是基本必需的，以便建立并维持对核电计划的信任和信心。

¹⁶ 经合组织核能机构《电力生产预测成本：2005 年最新资料》，巴黎，2005 年。

D.1.4. 人力资源

94. 人力资源的可获得性对核电的扩大和增长构成了严峻挑战。对核工业而言，仅是征聘和培训大量合格人员来替代那些正在相继退休的经验丰富的人员就是一项挑战。将需要更多的人力资源来支持有计划的扩展或实施新的核电计划。总的看，这些挑战是巨大的。

95. 就开始实施核计划的国家而言，对那些将运行和维护第一座电厂的人员来说，获得所需能力的一个成熟方法是通过在使用类似技术的现有设施上获得经验。通过这种实践培训和实际经验才能传承核电工业所需的能力和核安全文化。由于大量的人员退休与有计划的扩展活动同时出现，因此具备有适当经验的充足人力资源来执行这些任务将可能成为一项重要挑战。

96. 大多数工业管理者都同意应当对职工队伍的建立进行全盘规划。但在建造工作开始前就建立全部的职工队伍是不必要的，因为建造电厂所需的周期为培训职工队伍中的大多数非核专家留出了时间。

D.1.5. 乏燃料和废物管理

97. 新增的或额外的乏燃料和中低放废物的管理需要在制订核电发展或核电引进计划时加以考虑，而且还需要制订实施这种管理的政策和战略以及资金来源。

98. 乏燃料管理和放射性废物的最终处置常常作为核电发展面临的挑战被提及。虽然从技术上讲，乏燃料和中低放废物能够被长期安全贮存，但一些国家可能要求在扩大利用核电之前就永久性废物解决方案作出决定。中低放废物的处理以及中低放废物和乏燃料的长期贮存都是成熟技术，中低放废物的处置也是如此。但经验表明，建造中低放废物处置设施可能在公众接受方面会遇到困难。

99. 乏核燃料不是经后处理进行复用就是被作为废物，这取决于经济条件。后处理从废物中分离出钚和铀，以作为混合氧化物燃料进行再循环。残余的高放废物需要安全处置。目前，只有少数几个国家对其燃料进行后处理和再循环（闭合燃料循环）。其他国家由于经济性并由于对钚分离的扩散关切或环境关切，已决定不进行后处理。在这些国家，燃料在经过约 30—40 年的中间贮存后，将在地质处置设施中处置（一次通过燃料循环）。但拥有核电厂的大多数国家都采取了“等着瞧”的立场。最近，由于可持续性原因（更好地利用资源），世界范围内对闭合燃料循环的兴趣已经增加。先进的后处理也可能简化残余高放废物的最终处置。

100. 有关燃料循环后端的国际方案或多国方案也在研究之中，以期提高效率和减少扩散关切。这些方案包括多国处置库、燃料租借或收回和后处理服务。

101. 此外，还考虑了核反应堆的今后退役和退役产生的放射性废物的管理问题。现有退役技术是成熟的。

D.1.6. 运输

102. 世界范围内运行反应堆的国家数量的增加将导致铀、新鲜燃料和乏燃料以及废物的运输总量增加。就新鲜燃料而言，这种增加将与发电量的增长成正比。按原子能机构的低值预测，到 2030 年增加约 20% 以上；而按高值预测，则增加 85% 以上。乏燃料和废物运输增加的数量较难预测，因为它与国家有关后处理的政策和其他因素联系在一起。近期内，随着日本六所村后处理厂启动运行以及英国和法国后处理国外燃料的合同终止，跨境乏燃料运输的数量与 20 世纪 90 年代相比可能保持在较低水平。从较长期看，随着后处理和再循环的增加，这种运输可能将增加。

103. 过去几年来，原子能机构注意到拒绝运输放射性物质的情况增加，拒运的放射性物质不仅主要是医用和工业用放射源，而且还有铀和新鲜核燃料，不论何种运输方式都是如此。原子能机构正在收集有关这种趋势的更多资料，并设立了一个指导委员会对其影响进行进一步调查。以专用托运货物正常开展的乏燃料和废物的运输没有受到拒绝运输的影响，但遭到了反对利用核能的公众抗议。

D.1.7. 扩散危险和核保安

104. 虽然民用核电厂本身并不构成增加的扩散危险，但核材料使用的增加可能增大转用于非和平目的或恐怖主义的危险。核技术的传播和国际恐怖主义的存在也能够加大危险意识。

105. 因此，国际社会可能需要考虑与改进对核燃料循环敏感部分的控制（如实施核燃料循环多国方案等）、增强支持原子能机构加强型保障体系的国际承诺和加强国际保安措施的共享等有关方面的挑战。

106. 核电的增长将需要开展更多的保障活动，但如果各国接受更加透明的措施，原子能机构的核查工作负荷可能不会均衡有比例地增加。核查活动将越来越依赖于信息化工作。接近寿期终点的设施数量不断增多提出了关闭和退役期间的一个日益严峻的核查挑战。通过开发和整合允许高效和有效核查的“方便保障”的核技术，可能会减轻来自新反应堆技术和燃料循环设施类型的核查负担。

107. 如果反应堆燃料运输量增加，运输中材料的易受破坏性是可能需要采取额外措施的一个方面。就此而言，将需要对 INFCIRC/225 号文件“核材料和核设施的实物保护”进行修订，以便纳入关于运输问题的补充规定。

D.1.8. 新核国家的基础结构建设

108. 实施适当的基础结构以解决引进核电时的所有相关问题是一个核心关切的问题，特别是对正在规划第一座核电厂的国家而言尤其如此。基础结构包括在整个核计划寿期内为该计划提供支持的政府、法律、监管、管理、技术、人力和其他资源。它涵盖一系列广泛的问题，从实际供电、向场址运送材料和用品、场址本身和操作放射性废物材料的专门设施到法律和监管框架以及必要的人力和财政资源。简言之，在本文中

所用的基础结构一词包括制订和运作核计划所需的所有活动和安排。¹⁷ 这与无论核动力计划是规划用于发电、淡化海水还是任何其他和平目的都是相关的。

109. 采用或扩大核电计划国家的政府组织、电力公司、工业组织和监管机构在建立国家核基础结构方面均发挥着作用。在供应核设备和核材料之前，出口国政府和供应商作为利益相关者在了解一国基础结构的充分性方面可能也起些作用。这些组织的能力发展是开始准备核电计划时需要确立的一个关键方面。

110. 应当对建立国家核基础结构的所有要素进行全面规划。然而，在启动核电计划的准备工作之前就将整个基础结构都建立起来是不必要的，因为基础结构的建立应当按照计划的进展分阶段地进行。

D.1.9. 电网与反应堆技术之间的关系

111. 电网规模、质量、稳定性和互联性不仅是目前利用核电的国家要考虑的问题，而且也特别是核电新加入国家要考虑的问题。电网容量的 10% 这一数值被广泛认为是一台任何类型额外机组的最大容量，以防止出现电网的接口问题。相互联接的电网增加了总体容量。在瞬态时隔离部分电网的保护系统能够减少不稳定的危险。

112. 对引进核电厂感兴趣的许多国家拥有小型和孤立的电网网络。20 个国家表示对核感兴趣的拥有不足 5 吉瓦（电）的电网容量，依据 10% 的指导意见，该容量将使这些电网因规模太小而无法适应任何当前已有的反应堆设计。电网问题可能对 28 个拥有小于 10 吉瓦（电）电网容量的国家造成技术方案方面的限制。获得低于 600 兆瓦（电）设计的商用反应堆是有限的，尽管许多设计正在进展之中。小型反应堆提高商用能力以及减少对电网稳定性和可靠性的依赖的技术进步将拓宽拥有小型电网国家的选择。很小规模的反应堆具有使其能够充分独立于电网网络的特点，具有这种特点的反应堆对于在孤立环境中的应用也可能有意义。

D.2. 长期部署的关键问题

113. 反应堆和燃料循环两方面的设计进展对于实现核能增强对可持续发展的长期贡献是必要的。可持续发展的目标是通过整合发展、环境保护和社会福利实现国家内部和国家间以及几代人之间的公平。可持续性可从以下四个相关但又有区别的角度或层面加以考虑：社会、经济、环境相关基础结构和制度性基础结构。为了在核能系统中实现上述考虑因素，应当考虑在安全、经济性、抗扩散、废物、环境、资源利用、保安和基础结构领域发展的范畴内审议可持续性的改进问题。

¹⁷ 原子能机构出版物《国家核电基础结构发展中的里程碑》（原子能机构《核能丛书》第 NG-G-3.1 号）列出了在国家基础结构方面需要解决的 19 个问题。

D.2.1. 可得资源的有效利用

114. 经合组织核能机构和原子能机构 2008 年出版的全球铀资源最新估算表明，已确定的常规铀资源为 550 万吨。这一资源按目前的水平可使用近 100 年。虽然这与其他矿产资源相比是一个很高的数字，但重要的挑战是提高铀资源的利用率，即提高每吨开采铀的能量产出。与此同时，可以预期，勘探量的加大将增加铀资源。

115. 通过降低浓缩厂尾料中铀-235 的份额和将从乏燃料中提取的铀和钚进行复用以及加深燃料的燃耗能够对当代反应堆实现某些改进（直至能量产出翻番）。

116. 提高可得资源有效利用的措施之一是采用快堆和相关的燃料循环。与目前的轻水堆相比，快堆由于采用多次再循环而能够使每吨铀的能量产出增加约 60 倍。还可以商业开发使用钚燃料的革新型反应堆，从而增加世界可利用的核燃料资源。

117. 除高效利用铀钚资源外，还应当致力于有效利用如钢等结构材料。渐进型反应堆的若干设计概念提供了直接或间接实现材料节省以提高经济竞争力的技术解决方案。这些解决方案其中包括：延长设计寿命、提高功率转换循环的热效率、减少钢材消耗、实现电厂布置紧凑化。从长期看，已退役核反应堆产生的放射性结构材料的再循环可能也有助于资源的有效利用。

D.2.2. 反应堆设计革新

118. 促进长期部署的第二个关键问题是反应堆设计革新。E.1.2 节将讨论大功率反应堆的革新问题。扩大核电厂可能利用的创新问题包括提高运行温度，并因此提高出口温度。这些革新通过高温气冷堆的发展以及提高水冷堆输出温度方面的进展包括超临界水冷堆的开发而正在逐步开展。为响应对核动力促进需要小型反应堆的应用日益增加的兴趣而进行的革新侧重于开发能够以小型电网或离网运行的反应堆。虽然能够认识到这方面兴趣的增加，但目前尚不清楚这种规模范围的反应堆的市场将会怎样。此外，还在开发供偏远或孤立场址上应用的能够被运输的反应堆或可移动式反应堆。

D.2.3. 燃料循环革新

119. 从长期看，在开发革新型反应堆的同时也需要发展相应的燃料循环设施。这包括能够处理革新型反应堆燃料并能够分离钚和次锕系元素以进行再循环的先进后处理设施以及这些燃料的制造技术。

120. 引进革新型反应堆和增加再循环将导致更多地处理扩散敏感材料，因而可能增加保障要求。已经提出了一些解决此问题的革新型方案建议，包括敏感燃料循环设施即浓缩设施和后处理设施的多边化方案。其他可能的解决方案包括一些国家既为反应堆提供新鲜燃料又作为一项服务收回乏燃料的系统。收回的燃料将是一种供在快堆中再循环的资源，因而从较长期看可能具有某种积极的意义。再循环材料的使用还可能增加运输期间的安全和保安关切。

121. 更多地利用闭合燃料循环还可能改变高放废物最终处置的状况。将钚和次锕系元素清除后，高放废物的放射毒性和热负载将减少，从而将有可能以更紧凑地处置废物包的方式增加处置库的容量。国际处置库或地区处置库的潜在好处目前还在讨论之中，不过，有关这类设施的安排问题将会继续面临政治和公众接受的挑战。

E. 反应堆和燃料循环技术的发展

E.1. 核反应堆和辅助技术的发展

122. 如今可获得的大多数先进核电厂设计都是对以往设计的渐进型改进。这样做的好处是保持了得到证明的设计特点从而最大程度地减少了技术风险。这种渐进型设计一般要求很少的进一步研究与发展或确证试验。

123. 另一方面，与现有实践相比，创新型设计要体现出设计方案或系统构造方面的根本性概念变化。创新型设计很可能需要加大对研究与发展以及建设原型厂或示范厂的投入。

E.1.1. 渐进性发展

124. 利用核电方面近期的增长将主要基于渐进型设计。渐进型设计体现的是“人-机”接口、部件可靠性、加强经济性和安全性方面业务经验的反馈。由于一部分系统已经得到证明，因此，渐进型设计至多需要进行工程和确证试验。促进加强经济性的渐进型设计的常用要素例举如下：

- 简化设计（见图 E-1. 沸水堆的例子）
- 反应堆功率提高
- 缩短建造工期，同时在不抵消收入的情况下降低财政支出
- 标准化和系列建造，通过若干机组分摊固定成本
- 设备制造、现场工程和建造方面的生产率增益
- 在一个场址建造多台机组
- 自力更生和当地参与

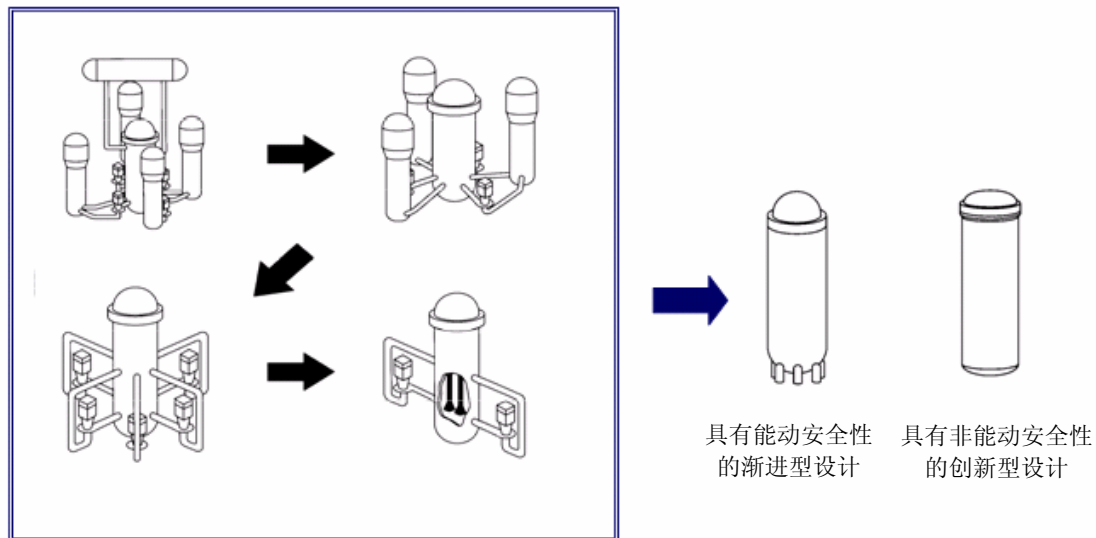


图 E-1. 沸水堆设计演变的例子

125. 除了提高经济性外，还通常采用若干手段，以便通过更加重视外部危害和在试验和检查方面取得的进步以及实施概率安全评定来改进渐进型设计的安全性和可靠性。渐进型设计还越来越重视“人-机”接口，包括加强控制室设计和电厂设计，以方便维护。为了利用数字系统，还对仪器仪表和控制系统进行更新。

轻水堆

126. 若干国家正在发展先进轻水堆设计。

127. 中国已经完成了 1000 兆瓦（电）压水堆的自主设计工作。中国计划在 2013 年前完成这台 1000 兆瓦（电）机组的建设。

128. 在法国和德国，法国核能集团公司已经设计出了满足欧洲电力需求的 1600 兆瓦（电）欧洲压水堆。第一个欧洲压水堆芬兰的 Olkiluoto-3 号机组正在进行建设，预计于 2012 年投入商业运行。法国电力公司已开始在弗拉芒维尔建设欧洲压水堆，预期将于 2012 年左右竣工。法国核能集团公司签署了向中国泰山场址供应两个欧洲压水堆机组的合同，这两台机组计划于 2014 年投入运营。法国核能集团公司还正在致力于研究满足美国需求的欧洲压水堆设计。

129. 日本正在继续部署 1356—1385 兆瓦（电）先进沸水堆机组，包括在 Ohma 建造的将全部使用混合氧化物燃料的机组设计。新设计的 1538 兆瓦（电）先进压水堆正在为 Tsuruga-3 和 Tsuruga-4 号机组的应用进行许可证审查。

130. 在大韩民国，韩国标准核电厂改进型 1000 兆瓦（电）优化动力堆正在新古里 1 号机组和新古里 2 号机组上进行建造，并计划于 2010 年和 2011 年投入商业运行。韩国水电和核电公司第一批 1450 兆瓦（电）APR-1400 机组利用了韩国标准核电厂较高功率水平的经验，目前正在新古里 3 号机组和新古里 4 号机组上进行建造，并预定于 2013 年和 2014 年竣工。

131. 在俄罗斯联邦，承担核电厂设计的组织（Atomenergoproekt）正在将 WWER-1000 型扩大到 WWER-1200 型和 WWER-1500 型。两台 WWER-1000 型机组目前正在印度建造，并计划于 2009 年投入商业运行。保加利亚国家电气公司与俄罗斯核设备出口公司（ATOMSTROYEXPORT）签订了两台 WWER-1000 型机组的合同。俄罗斯联邦也制定了在 2020 年前建造 17 台 WWER-1200 型机组的计划。

132. 俄罗斯机械制造实验设计局研制了一种浮动式或陆基核能热电联供核电厂。2007 年 4 月开始了第一个原型船载热电联供厂的建造工作，该厂竣工的目标日期是 2010 年之前。该厂配备了两座 KLT-40S 型反应堆，为热电联供提供 70 兆瓦（电）和一些热功率。

133. 在美国，AP-1000 和先进沸水堆的设计已经取得了美国核管理委员会（美国核管会）的设计证书，经济的简化沸水堆（1520 兆瓦（电））、美国-欧洲压水堆（1600 兆瓦（电））和美国先进压水堆（1700 兆瓦（电））正在接受审查。美国核管会正在审查除美国先进压水堆以外的上述全部先进设计的合并许可证申请。西屋公司与中国国家核电技术公司签署了供应四台 AP-1000 机组（三门和海阳两个场址各两台机组）的合同，第一台机组将于 2013 年底开始运行。

134. 在其他中小规模的轻水堆中，典型的渐进型设计有：美国西屋的 AP-600 和“国际反应堆的革新与安全项目”一体化设计；Atomenergoproekt 和 Hidropress 的 WWER-640、OKBM 的 PAES-600 和俄罗斯动力工程研究与发展研究院的 VK-300；日本日立公司的简化沸水堆和日立公司先进沸水堆设计概念；以及法国 TECHNICATOME 的 NP-300。还提出了关于许多其他设计概念的建议，其中大多数都是渐进型的，但也有一些具有创新特点。然而，没有任何哪一项设计进步的范围超出了迄今为止的设计阶段。

重水堆

135. 在加拿大，加拿大原子能有限公司正在发展先进坎杜型反应堆，这种反应堆使用稍加浓铀，以便对使用轻水作为一次冷却剂进行补偿。

136. 印度的 540 兆瓦（电）重水堆设计吸收了来自本国设计的 220 兆瓦（电）机组的反馈，塔拉普尔的两个 540 兆瓦（电）机组已经开始商业运营。印度还在设计一个渐进型 700 兆瓦（电）重水堆和一个先进重水反应堆。该先进重水堆利用重水慢化，垂直压力管中盛装沸轻水冷却剂，目的是对使用钚进行优化，并配备有非能动安全系统。

气冷堆

137. 若干国家建造了并一直在运行利用电力生产用兰金蒸汽循环的氦冷却剂气冷堆原型厂和示范厂。在法国、日本、俄罗斯联邦、南非和美国，在直接循环燃气轮机高温堆上做了大量的工作，因为这种堆型有可能实现较高的热效率和较低的电力生产成本。在南非，165 兆瓦（电）球床模块式示范堆的设计已经完成，预计将在 2009 年开

始建造。在中国，利用间接（燃气轮机）循环的 200 兆瓦（电）球床模块式高温气冷堆项目正在进入基础设计阶段，其目标是在 2013 年左右建造一台球床模块式高温气冷堆示范机组。

液态金属冷却堆

138. 从核反应堆发展的早期阶段起就一直存在一系列试验快堆和原型快堆（最早的 Clementine 快堆于 1946 年达到临界）。诸如以下的钠冷快堆的设计和运行提供了 300 多反应堆-年的经验基础，如英国的 270 兆瓦（电）原型快堆、法国的凤凰原型堆、哈萨克斯坦的 BN-350、俄罗斯的 BN-600 示范堆、日本的文殊堆以及法国的商用规模超凤凰堆（只列举主要堆型）。随着印度在卡尔帕卡姆场址建造一座 500 兆瓦（电）的钠冷快堆并于 2010 年竣工，液态金属冷却快堆正在继续发展演变。印度计划再建四座同样规模的快堆。俄罗斯联邦还在继续建造 BN-800 快堆，拟于 2012 年完工。

139. 关于快堆状况的进一步详细情况，请参见《2008 年核技术评论》的相关补充文件。

E.1.2. 未来创新

140. 在 21 世纪，影响新一代核能系统发展的主要因素有：经济性、安全性、抗扩散性和环境保护，包括提高资源利用率和减少废物的产生。未来的许多创新将侧重于钚-239 形式的易裂变材料的产量多于消耗量的快中子系统。快堆中的快中子还使得有可能利用或嬗变某些长寿命放射性同位素，从而减少高放废物管理的环境负担。上述特点的复杂性在一定程度上说明了为什么这些系统 50 多年来一直处在各种发展阶段并且仍在继续演变和采纳创新概念。

141. 除了可以从创新中实现的发展以达到提高燃料效率的目的外，还存在其他一些促进创新概念得到重视的问题。这些问题包括高温应用和偏远场址的设计。

142. 可导致提高效率、安全性和抗扩散性的具体创新发展方案包括：

- 燃耗很深的长寿命燃料
- 经过改良的包壳和部件材料
- 促进提高安全性和效率的替代冷却剂
- 强大的容错系统
- 高温布雷顿循环功率转换
- 钚燃料设计

143. 诸如此类的创新要求进行广泛的研究与发展以及试验。由于属于资源密集型的工作，因此，目前的许多创新工作都是通过国际或双边合作进行的。

E.2. 核燃料循环和配套技术的发展

E.2.1. 燃料循环技术的发展

144. 当前的核燃料循环技术具有充分性，完全能够对目前的核电生产提供支持。然而，正如在所有技术领域一样，在燃料循环的所有阶段，新的发展层出不穷，不仅进一步增加了经济上的吸引力，而且还降低了安全、保安和扩散风险以及环境上的关切，如效率更高和能耗更低的浓缩技术。

145. 当前反应堆中使用的燃料正在不断发展，以便提高堆内性能和加深燃耗，即提高铀的利用率。后处理铀特别是作为混合氧化物燃料的铀的再循环要求燃料制造涉及远程操作和增加当前职工队伍接受的剂量，因此有必要加强放射防护。

146. 就 20 世纪 60 年代发展起来的后处理技术而言，目前正在开发能够提高产品纯度、减少废物产生和加强防扩散控制的设备。目前正在研究不分离后处理用的纯铀但铀又始终与其他材料、铀或裂变产物混合从而增加其抗扩散性的工艺。

147. 高放废物和乏燃料的处置原则包括在地质处置库深度处置并在其周围设置多重屏障的原则已得到国际上的广泛认可。目前正在为调查适当的场址、开展安全评定和利用封装和处置技术进行发展工作。

E.2.2. 未来创新

148. E.1.2.节介绍了革新型反应堆方面不同的发展趋势。上述每个系统都将需要有具体的燃料循环方案。具体堆型将拥有其专门的核燃料，这将要求相应地发展燃料技术和制造方法，如利用浓度较高的铀。

149. 引进快堆系统需要后处理和再循环。目前正在开发能处理辐射水平较高的快堆燃料和减少冷却时间的经过改良的后处理技术。这包括从当前使用的先进湿法工艺技术以及新型干法工艺技术，如高温化学处理。

150. 为了降低后处理残留的高放废物的长期放射毒性和热负荷，正在开发能分离一些长寿命放射性核素如镅和锔等次锕系元素的新工艺。分离出的材料可以通过在快堆燃料中焚烧（嬗变）的方式销毁。还正在为减少废物热负荷的目的研究对锝和铯进行分离。《2008 年核技术评论》的相关补充文件提供了关于先进后处理系统开发的进一步资料。

151. 采用先进再循环系统还将对高放废物的最终处置产生重要影响。尽管很可能仍然需要进行深部地质处置，但这样做可以减少热负荷，从而增加处置库的容量，因为大多数情况下的包装密度是由热负荷决定的。这样做还会降低长期放射毒性，从而简化处置库的设计和公众的接受度。

E.3. 非电力应用

海水淡化和地区供热

152. 饮用水需求正在上升。来自核电厂的电力或蒸汽已经被用于进行海水淡化，而且推广应用不需要进行大量的开发。

氢生产和工艺热

153. 日本、美国和其他国家正在探索利用电解、热化学和混合工艺从水中生产氢的途径。大多数工作都把精力集中在高温工艺上，所需温度比水冷堆可以达到的温度还要高（>750℃）。先进堆如超高温气冷堆可以在这样高的温度生产热能。预计日本约在 2015 年以及美国约在 2020 年才能第一次示范利用气冷堆生产氢。这种高温蒸汽还可以用于消耗大量热的工业过程。氢和工艺热利用的适当性将取决于达到很高蒸汽温度的反应堆的发展以及替代方案的经济性。长期的状况目前仍存在不确定性。

F. 与扩大利用核能和技术发展有关的合作

154. “第四代国际论坛”是一个开发新一代能源系统的集团，共有 11 个成员¹⁸。这种系统具有经济性、安全性、可靠性和可持续性的优势，可望在 2030 年前投入商业应用。已经选定了六种系统，并制定了指导研究与发展的技术路线图。这些系统是：

- 气冷快堆
- 铅合金液态金属冷却反应堆
- 钠液金属冷却堆
- 超临界水冷堆
- 超高温气冷堆
- 熔盐堆

155. 美国发起了“全球核能伙伴关系”，以促进扩大核能，并同时加强保安和防扩散。“全球核能伙伴关系”包含两部分：一是侧重于利用后处理技术但没有分离钚的闭合燃料循环的技术组成部分，二是包含已设立的基础结构开发和可靠燃料循环工作组的国际组成部分。截至 2008 年 5 月，“全球核能伙伴关系”已有 21 个伙伴，三个

¹⁸ 成员有阿根廷、巴西、加拿大、法国、日本、大韩民国、南非、瑞士、英国、美国和欧洲原子能联营。

作为观察员的国际组织¹⁹。还有九个国家作为观察员参加“全球核能伙伴关系”。

156. 2006年，俄罗斯联邦宣布了发展全球核电基础结构的倡议，建立安加尔斯克国际铀浓缩中心就是落实这一倡议的第一个步骤。亚美尼亚和哈萨克斯坦是该倡议的伙伴国。“全球核电基础结构倡议”旨在向感兴趣的國家提供在遵守防扩散要求的情况下获得核能好处的机会。

157. 关于安全，已经通过根据“多国设计评价计划”分享设计证书资料的试验项目开始提高设计证书过程的效率。“多国设计评价计划”的未来阶段寻求准则、安全标准和目标在主要核电国家的监管者之间的趋同。国际设计证书程序将有助于核电的扩大和增长，因为遵守公认标准的监管机构可以根据这一程序颁发设计证书，从而让购买国对有关设计及其性能充满信心。

¹⁹ “全球核能伙伴关系”的伙伴是：澳大利亚、保加利亚、加拿大、中国、法国、加纳、匈牙利、意大利、日本、约旦、哈萨克斯坦、大韩民国、立陶宛、波兰、罗马尼亚、俄罗斯联邦、塞内加尔、斯洛文尼亚、乌克兰、英国和美利坚合众国。原子能机构、国际能源机构和“第四代国际论坛”被授予了长期观察员地位。