

第五十三届常会

临时议程项目 18
(GC(53)/1)

2009 年核技术评论

总干事的报告

概 要

- 为响应成员国的要求，秘书处每年编写一份综合性“核技术评论”。随附的本年度报告重点阐述 2008 年的主要发展情况。
- 《2009 年核技术评论》涵盖以下领域：动力应用、先进的裂变和聚变、原子数据和核数据、加速器和研究堆的应用、粮食和农业领域的核技术、人体健康、环境、水资源和放射性同位素生产与供应。可在国际原子能机构英文网站¹获得与《2009 年核技术评论》相关的其他文件，内容涉及：作物突变育种技术的发展；剂量学质量保证的成就和趋势；同位素用于管理跨境河流和含水层；新核电厂的先进建造方法；核电厂和电网的接口；以及气候、土地、能源和水的综合战略。
- 有关原子能机构核科学技术的活动亦可参阅原子能机构《2008 年年度报告》(GC(53)/7)，特别是其中的“技术”部分，还可参阅《2008 年技术合作报告》(GC(53)/INF/4)。
- 对本文件已作修改，以便尽可能考虑理事会的具体意见和从成员国收到的其他意见。

¹ <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC53/Agenda/index.html>

2009 年核技术评论

总干事的报告

正文摘要

1. 2008 年对于核电是反常的一年。虽然对核电今后发展的预测作了上调，但却没有任何新反应堆并入电网。这是自 1955 年以来第一年没有任何一座新反应堆投入运行。然而，有 10 座新反应堆开工建造，是自 1985 年以来开工建造数量最多的一年。
2. 至少在全球金融危机之前，已报告的新核反应堆费用概算常常比前几年要高，在没有多少新建造经验的地区尤其如此。但俄罗斯联邦却提高了核电发展目标，而中国正在审查类似的考虑因素。印度于 8 月与国际原子能机构谈判缔结了保障协定，核供应国集团随之向印度提供了对以往核贸易限制的豁免，这使得印度可以加速实施其核电扩展计划。
3. 在美国，核管理委员会（核管会）收到了 26 座新反应堆的联合许可证申请。美国能源部收到了 19 项要求提供联邦贷款担保以建造 21 座新反应堆的“一期申请”。
4. 不过，当前的扩展以及近期和远期的增长前景仍以亚洲为中心。2008 年开工建设的 10 座反应堆中，有 8 座在亚洲。截至 2008 年底，在建的 44 座反应堆有 28 座在亚洲，最近并网的 39 座新反应堆中的 28 座也在亚洲。
5. 亚美尼亚与俄罗斯联邦和哈萨克斯坦一道成为了设在西伯利亚安加尔斯克的国际铀浓缩中心的成员。乌克兰政府宣布乌克兰也将加入该中心。阿雷瓦集团公司和美国能源公司向美国能源部申请提供长期担保，以建造阿雷瓦集团公司建议的“鹰石浓缩设施”和美国能源公司的“美国离心分离厂”。
6. 在德国前康拉德铁矿山开始了中低放废物地下处置库的建造工作。美国能源部提出了在内华达州尤卡山建造和运行规划已久的高放废物处置库的正式申请。
7. 国际热核实验堆国际聚变能组织正式申请关于在法国卡达拉什建设一座实验聚变堆“国际热核实验堆”的建造许可证。
8. 水资源管理、粮食安全、人体健康、环境保护和利用放射性同位素和辐射都是核技术和同位素技术正在为全世界的社会经济发展作出宝贵贡献的领域。

9. 在粮食和农业领域，正在利用核技术及补充技术提高牲畜繁殖力以及防止危险跨境动物疾病如禽流感的蔓延。随着国际贸易的扩大，提供食品安全保证的必要性也在增加。作为一种保证食品质量的手段，同位素技术正被用于对食品来源和污染物的渗透进行跟踪。

10. 核成像技术正在新药开发中发挥日益重要的作用。改进营养的干预方法正日益成为发展战略的一部分；利用稳定同位素对主要营养方面如人体成分进行评定可以成为对抗慢性病晚期发展的有效战略。长久寻觅的“魔弹”（其中有一种真正有针对性的物质在不损害健康组织的情况下杀死癌细胞）正在逐步（尽管缓慢地）成为治疗用核医学的现实。

11. 在自然资源管理领域，核技术正在帮助评定“热粒子”——可以从多种来源包括武器试验和核事故向环境释放的一种放射性核素。稳定同位素正被用于更好地了解海洋环境中复杂的食物网和碳循环。放射性示踪剂工具正被用来衡量气候变化的影响，如海洋酸化对海洋生物多样性的影响。同位素方法正越来越多地被用于帮助简易识别未补给的原水含水层或有大量补给的现代水含水层，因为这种信息对于淡水的有效管理具有重要意义。

12. 全球对于放射性同位素和辐射源的需求由于其在医学和工业中的使用正在日益上升，正电子发射断层照相法临床放射性示踪剂地区生产中心也在相应地增多。在过去的一年中，作为诊断成像中广泛使用的钨-99m 来源的放射性同位素钼-99 供应的中断对世界各地核医学中心的患者服务产生了不利影响。将需要有政府支持和同位素生产商包括公营-私营伙伴关系之间加强合作，才能确保适合的反应堆今后能从事钼-99 生产用低浓铀靶的辐照工作。

A. 动力应用

A.1. 当今的核电

13. 在世界范围内，截至 2008 年底在运的核动力堆有 438 座。2008 年没有任何新反应堆并入电网。按照斯洛伐克的欧洲联盟入盟协定，Bohunice-2 号机组已于 2008 年底退役。全球核发电总量以及核电占全球电力生产的份额基本保持未变，分别为 372 吉瓦（电）和 14%（见表 A-1）。

14. 2008 年有 10 座反应堆开工建设，它们是：中国方家山核电站 1 号机组、福清核电站 1 号机组、红沿河核电站 2 号机组、宁德核电站 1、2 号机组和阳江核电站 1 号机组（以上均为 1000 兆瓦（电））；俄罗斯联邦的新沃罗涅日二期 1 号机组和列宁格勒二期 1 号机组（均为 1085 兆瓦（电））；大韩民国的新月城 2 号机组（960 兆瓦（电））和新古里 3 号机组（1340 兆瓦（电））。相比之下，2007 年有八座反应堆开工建设，另有一座反应堆恢复建造。2006 年有四座反应堆开工建设，另有一座反应堆恢复建造。

15. 当前的扩展以及近期和远期的增长前景仍以亚洲为中心。2008 年开工建设的 10 座反应堆中，有 8 座在亚洲。如表 A-1 所示，截至 2008 年底，在建的 44 座反应堆有 28 座在亚洲，最近并网的 39 座新反应堆中的 28 座也在亚洲。中国正在考虑到 2020 年提高核电在电力中的比例的目标。印度与原子能机构谈判缔结了一项保障协定，核供应国集团随之向印度提供了对以往核贸易限制的豁免。贸易限制减少将使得印度可以加速实施其核电扩展计划。

16. 俄罗斯联邦提高了目标，其核电装机容量到 2020 年达到 52—59 吉瓦（电）。俄罗斯联邦还为 Kola-1 号机组颁发了延长运行到 2018 年 7 月的许可证，即目前的许可寿期为 45 年。

17. 还是在欧洲，英国于 2008 年 1 月发表了一份白皮书，其中强调指出，核能继续成为英国低碳能源结构的一个组成部分符合公众的利益，并有助于英国达到减碳指标和确保可靠的能源供应。欧洲的若干实体表示有兴趣在英国建造新反应堆。意大利宣布计划重建为重启 1987 年全民公决后停止的核电计划所需的法律、监管和技术基础结构。该国国会众议院于 11 月初批准了推翻核禁令的法案。在罗马尼亚，合作伙伴签署了筹资建造 Cernavoda 核电厂 3 号机组和 4 号机组的投资协议。在保加利亚，合作伙伴签署了建造贝勒尼核电厂 1 号机组和 2 号机组的合同。在芬兰，TVO 电力公司申请国务委员会原则批准建造奥尔基卢奥托核电厂 4 号机组，其他公司正准备提出另外两项申请。在瑞士，阿蒂尔电力集团公司、阿斯波能源服务公司和 BKW FMB 能源公司提出了在尼德阿穆特、贝兹瑙和戈斯根建造新核电厂的申请。在斯洛伐克，斯洛伐克电力公司发起了恢复建造莫丘维斯核电厂 3 号机组和 4 号机组的招标工作。

18. 在加拿大，在安大略电力公司 2006 年提出场址准备许可证的申请后，安大略省政府选择达灵顿作为两台新反应堆机组的场址。安大略电力公司还取得了将达灵顿反应堆和皮克林-B 反应堆再运行五年直到 2013 年的许可证。

19. 在美国，核管会已批准 10 台机组提高出力，总容量达到 2178 兆瓦（热）。核管会还批准了三个为期 20 年的许可证展期（得到许可的寿期总计为 60 年），从而使得到 2008 年底已批准的许可证展期的总数达到 51 个。就新核电厂建造而言，核管会已收到 26 座新反应堆的联合许可证申请。美国能源部收到了 19 项要求提供联邦贷款担保以建造 21 座新反应堆的“一期申请”。申请担保总额为 1220 亿美元，大大超过所提供的 185 亿美元。

20. 启动新核电计划的兴趣依然高涨。在过去的两年中，55 个成员国已通过向原子能机构提出参加技术合作项目请求的方式表示有兴趣考虑引入核电。

21. 原子能机构协助感兴趣的成员国分析能源方案和开展引进核电和（或）铀生产的准备工作。已批准的关于分析能源方案的技术合作项目的数量从 29 个增加到 2009 年开始的技术合作项目周期的 41 个。铀矿勘探和开采项目数量从 4 个增加到 10 个，引进核电项目数量从 13 个增加到 44 个。原子能机构开展了向考虑引进核电的国家提供

综合咨询的新服务。2007 年和 2008 年，对白俄罗斯、埃及、约旦、尼日利亚、菲律宾、苏丹、泰国和海湾合作委员会成员国（三次）开展了 10 次这样的工作组访问。原子能机构还提供了指导性文件。2008 年，原子能机构出版了《国家核基础结构发展状况评估》和《新核电厂筹资》，以作为对 2007 年的两份基础性出版物《启动核电计划的考虑因素》和《国家核电基础结构发展中的里程碑》的补充。

表 A-1. 全世界在运和在建的核动力堆（截至 2008 年 12 月 31 日）^a

国家	在运反应堆		在建反应堆		2008 年 供应的核电量		截至 2008 年 的总运行经验	
	机组数	总容量 兆瓦（电）	机组数	总容量 兆瓦（电）	太瓦·小时	占总发电量的 百分数	年	月
阿根廷	2	935	1	692	6.9	6.2	60	7
亚美尼亚	1	376			2.2	39.4	34	8
比利时	7	5 824			43.4	53.8	226	7
巴西	2	1 766			13.2	3.1	35	3
保加利亚	2	1 906	2	1 906	14.7	32.9	145	3
加拿大	18	12 577			88.3	14.8	564	2
中国	11	8 438	11	10 220	65.3	2.2	88	3
捷克共和国	6	3 634			25.0	32.5	104	10
芬兰	4	2 696	1	1 600	22.1	29.7	119	4
法国	59	63 260	1	1 600	419.8	76.2	1 641	2
德国	17	20 470			140.9	28.8	734	5
匈牙利	4	1 859			13.9	37.2	94	2
印度	17	3 782	6	2 910	13.2	2.0	301	4
伊朗伊斯兰共和国			1	915				
日本	55	47 278	2	2 191	241.3	24.9	1 386	8
大韩民国	20	17 647	5	5 180	144.3	35.6	319	8
立陶宛	1	1 185			9.1	72.9	42	6
墨西哥	2	1 300			9.4	4.0	33	11
荷兰	1	482			3.9	3.8	64	0
巴基斯坦	2	425	1	300	1.7	1.9	45	10
罗马尼亚	2	1 300			10.3	17.5	13	11
俄罗斯联邦	31	21 743	8	5 809	152.1	16.9	963	4
斯洛伐克	4	1 711			15.5	56.4	128	7
斯洛文尼亚	1	666			6.0	41.7	27	3
南非	2	1 800			12.8	5.3	48	3
西班牙	8	7 450			56.5	18.3	261	6
瑞典	10	8 996			61.3	42.0	362	6
瑞士	5	3 220			26.3	39.2	168	10
乌克兰	15	13 107	2	1 900	84.5	47.4	353	6
英国	19	10 097			48.2	13.5	1 438	8
美利坚合众国	104	100 683	1	1 165	806.7	19.7	3 395	9
总计 ^{b、c}	438	371 562	44	38 988	2 597.8	14%	13 475	7

a. 数据源于原子能机构“动力堆信息系统” (<http://www.iaea.org/pris>)。

b. 注：总数包括中国台湾的下列数据：

- 六台机组，4949 兆瓦（电）在运行；两台机组，2600 兆瓦（电）在建；
- 核发电量为 39.3 太瓦·小时，占那里的总发电量的 17.5%；
- 截至 2008 年底 164 年 1 个月的总运行经验。

c. 总运行经验还包括意大利（81 年）和哈萨克斯坦（25 年 10 个月）的已关闭核电厂。

A.2. 核电的预期增长

22. 原子能机构每年都要对其全球核电增长的低值和高值预测进行更新。2008 年，对低值和高值预测都作了上调。在经修订的低值预测中，2030 年全球核电装机容量将达到 473 吉瓦（电），而 2008 年底的预测为 372 吉瓦（电）。在经修订的高值预测中，该数值达到 748 吉瓦（电）。

23. 国际能源机构也将其对核电到 2030 年的参考预测上调约 5%。² 但国际能源机构到 2030 年 433 吉瓦（电）核电装机容量的参考假想方案仍然低于原子能机构的低值预测。该机构还发表了两个气候政策假想方案。“550 政策假想方案”相当于大气温室气体浓度长期稳定在百万分之 550 的二氧化碳，等于全球气温上升近 3℃。“450 政策假想方案”等于全球气温上升约 2℃。在“550 政策假想方案”中，2030 年的核电装机容量为 533 吉瓦（电）。在“450 政策假想方案”中，2030 年的核电装机容量为 680 吉瓦（电）。

24. 经合组织核能机构 2008 年出版了《核能展望》，其中包括了到 2050 年核电装机容量的低值和高值预测。³ 就 2030 年而言，预测范围为 404—625 吉瓦（电），略低于原子能机构的预测。就 2050 年而言，预测范围为 580—1400 吉瓦（电）。

25. 美国能源情报署也将其对核电到 2030 年的参考预测略微作了修正，上调到 498 吉瓦（电）。⁴ 因此，该预测略高于原子能机构的低值预测。

26. 所有这些预测都是在 2008 年底发生金融危机之前作出的。在本文撰稿时，尚未印发分析金融危机对核电影响的任何预测。

A.3. 燃料循环⁵

27. 2007 年发起的“全球核能伙伴关系”2008 年增加到 25 个伙伴。全球核能伙伴关系基础结构发展工作组发起设立了一个载有参考资料、各种计划和工具的资源库，并集中资源以支持分享教育资源、促进技术教育机会和制订新的培训和教育计划。它还为首考虑核能的全球核能伙伴关系成员发起实施了一系列可行性研究。全球核能伙伴关系的可靠核燃料服务工作组完成了对成员国关于燃料循环的法律和制度框架所作的调查，目的是确定共同的挑战。该工作组接下来将侧重于研究与燃料循环后端有关的各种问题。

² 经合组织国际能源机构《2008 年世界能源展望》，法国巴黎，2008 年。

³ 经合组织核能机构《2008 年核能展望》，法国巴黎，2008 年。

⁴ 能源情报署《2008 年国际能源展望》，美国能源部，华盛顿哥伦比亚特区，2008 年。

⁵ 有关原子能机构燃料循环活动的更详细资料可见最新的《国际原子能机构年度报告》（<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html>）相关部分，亦可查阅以下网址：<http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/index.html>。

A.3.1. 铀资源和生产

28. 经合组织核能机构-原子能机构第 22 版《红皮书》⁶ 报告了铀资源的增加情况，这反映了全世界最近增加的勘探活动。所报告的资源增加是一种持续的趋势。在过去 14 年中（七个版本的《红皮书》）所报告的剩余铀资源增加了 240 万吨以上，尽管已开采了 50 多万吨。

29. 所报告的已探明资源（550 万吨天然铀）按目前每年约 7 万吨的消耗率将够用 83 年。但 83 年这一数字可能造成误解，因为所有矿物资源数字都是随着商品价格的变化而改变的，铀也不例外。2005 年至 2007 年报告增加的资源相当于 2006 年一年铀需求的 11 倍，这有力地证明了铀价的上涨对资源总量的影响。此外，《红皮书》介绍的已报告铀资源数字只是已知资源的一部分，而不是可回收铀总量的库存。铀资源已知但未报告的例子有俄罗斯联邦、美国和澳大利亚。

30. 报告的已探明铀资源按目前消耗率 83 年的预期使用期限相比其他商品（如铜、锌、石油和天然气）30 年至 50 年的储量还是不错的。但预计需求还会上升，且有必要开采地下资源。只要按计划扩大现有的铀矿并开发新矿，现有的、已承诺的、已计划的和预期的铀生产设施就可以满足原子能机构直到大约 2025 年的高值预测对铀的需求。额外的铀需求将必须通过建立超出计划的新开采能力加以满足。预计这种情况将随着（就原子能机构的高值预测而言）新核电厂建设有效订单的发出从而给铀生产商注入对不断高涨的长期销售前景的信心而到来。关于满足需求所需新鲜铀数量的某些不确定性则来自于二次供应来源的持续（尽管不断下降的）可得性。二次供应来源如今约占 40% 的需求。

31. 2008 年，哈萨克斯坦开始了若干新的原地浸出作业，并按该国 2010 年每年生产一万吨铀的目标将另外若干原地浸出作业扩大到满足其全部目标能力。许多原地浸出作业都具备至少每年生产 1000 吨铀的能力。位于印度安得拉邦 Tummalapalle 的一个新的铀矿加工厂 2008 年破土动工，该厂的年设计加工能力为 220 吨铀。

A.3.2. 转化、浓缩和燃料制造

32. 全球六氟化铀的总转化能力大约为每年 7.5 万吨天然铀，二氧化铀为每年 4500 吨天然铀。目前的需求约为每年 7 万吨。阿雷瓦集团公司计划于 2009 年开始建造新的 COMURHEX II 转化设施，初期计划能力为到 2012 年每年转化 1.5 万吨六氟化铀。

33. 全球总浓缩能力目前约为每年 5000 万分离功单位，而总需求将近每年 4500 万分离功单位。在建的有三个新的商业规模浓缩设施，它们是法国的乔治·贝斯 II 和美国的美国离心分离厂和国家浓缩设施。这些设施全部采用离心浓缩法，而且都定于 2009 年开始运行。乔治·贝斯 II 和美国离心分离厂都计划让现有的气体扩散浓缩厂退役。

⁶ 经合组织核能机构-原子能机构《2007 年铀资源、生产和需求》，经合组织，巴黎，2008 年。

阿雷瓦集团公司和美国能源公司向美国能源部申请了长期贷款，以用于建造美国能源公司的美国离心分离厂和阿雷瓦集团公司建议的“鹰石浓缩设施”。亚美尼亚与俄罗斯联邦和哈萨克斯坦一道成为了设在西伯利亚安加尔斯克的国际铀浓缩中心的成员，乌克兰政府于 12 月宣布该国也准备加入该中心。

34. 全球总燃料制造能力就轻水堆燃料而言目前约为每年 1.15 万吨（浓缩铀），就加压重水堆燃料而言约为每年 4000 吨（天然铀）。总需求约为每年 1.2 万吨。现有设施正在以某种方式予以扩大，例如在中国和大韩民国。制造混合氧化物燃料的一座新设施正在日本六所村建设，定于 2012 年竣工。

A.3.3. 燃料循环后端

35. 据预测，全球卸出的乏燃料总量到 2008 年底将达到 32.4 万吨重金属，其中，约 9.5 万吨重金属已经过了后处理，1.6 万吨重金属目前则被贮存以待后处理，21.3 万吨重金属贮存在反应堆的乏燃料贮存池或离堆贮存设施。离堆贮存设施正在通过增加现有干法贮存设施模块和建设新设施两种方式定期予以扩大。

36. 全球总后处理能力约为每年 6000 吨重金属。在英国，塞拉菲尔德的热中子堆氧化物核燃料后处理厂在由于放射性泄漏被关闭三年后于 2007 年重新开始商业运行。在新的六所村后处理厂开展的试验所花时间超过预期，商业运行被推迟到 2009 年。

37. 在德国前康拉德铁矿山开始了中低放废物地下处置库的建造工作。该处置库预定于 2014 年初开始接纳废物。

38. 匈牙利的巴塔帕蒂中低放废物永久处置库于 2008 年竣工。在用于永久贮存的岩洞于 2010 年开放时，废物将被临时贮存在一个接收区内。

39. 负责贮存瑞典核废物的瑞典核燃料和废物管理公司取得了将奥斯卡港乏核燃料临时贮存中心设施的能力从 5000 吨重金属扩大到 8000 吨重金属的作业许可证。

40. 美国能源部向核管会正式申请获得在内华达州尤卡山建造和运行规划已久的高放废物处置库的许可证。该处置库的设计容量为 7 万吨重金属乏核燃料，包括 7000 吨重金属军用废物。

41. 世界各地的退役统计数字 2008 年依然保持不变：全世界已有 10 座动力堆完全退役，有关场址已解除监管，供无条件使用；17 座反应堆已部分拆除并被安全地封闭；32 座反应堆正在实施场址最终解除监管之前的拆除；34 座反应堆正在进行长期封闭之前的最低程度拆除。

A.4. 影响核电未来的其他因素

A.4.1. 经济性

42. “核技术评论”上一次概述新核电厂的估计成本是在 2006 年。该概述对 2003 年至 2005 年期间发表的七项研究得出的估计成本作了比较。有关的估计隔夜成本为每千瓦（电）1200 美元至 2510 美元不等。⁷

43. 去年，估计成本幅度的上限提高。图 A-1 显示了原子能机构最近从公开来源收集的估计成本的最低值和最高值。

44. 虽然建议了若干可能的助长因素，但对于估计成本不确定性的增加（即幅度拉大）和估计成本的上涨（即幅度提高）均没有确定性的解释。此外，图 A-1 反映的估计成本是在 2008 年底发生金融危机之前得出的。在本文撰稿时，金融危机对核电估计成本的影响仍不清楚。因此，本节概述了可能推动估计成本上涨或不确定性增加的因素，但由于没有精确的研究数据，故不能提供确定性的解释。

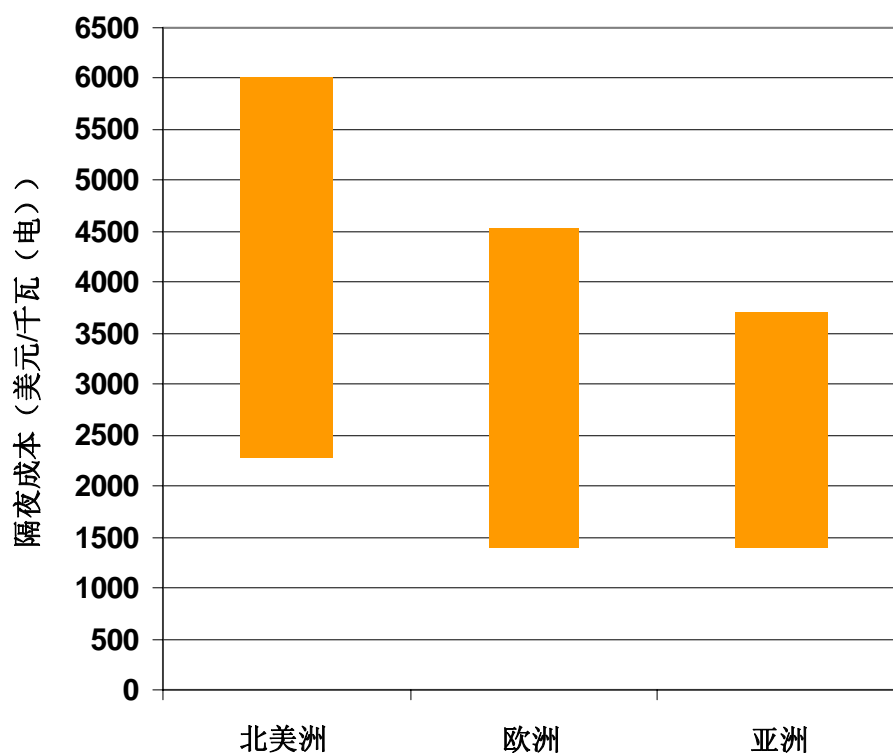


图 A-1. 2007—2008 年按地区分列的新核动力堆隔夜成本最低估计数和最高估计数。

⁷ “隔夜成本”不包括建造期间利息、融资费用和增价费用，就像核电厂是在一夜之间建造完成一样。增价费用反映建造期间的价格上涨。不应将其与应急费用相混淆，因为应急费用仅涉及未预见到的工作。

45. 本节侧重于隔夜成本，但建造期间利息也是核反应堆成本的一个重要组成部分。建造期间利息估算往往比隔夜成本更受金融机构、业主和股东重视，也更加具有项目特异性。因此，编制一个有意义并同关于隔夜成本的图 A-1 具有可比性的总费用（包括建造期间利息）图较为困难。但计入建造期间利息可几乎使总费用翻一番，特别是在建造期、利率或市场条件在项目期间发生不利变化的情况下。因此，不应因本节侧重于隔夜成本而忽视建造期间利息的重要性。

估计成本的不确定性

46. 造成估计成本存在差异的一个原因是不同的人使用不同的定义。有时计入有时不计入的成本组成部分是与评标、选址和准备相关的费用，许可证费用，业主费用与应急费用以及一些融资费用。

47. 一些差异系当地差异所致。在荒地上建造一般比在已有反应堆的场址上建造费用高。在地震较为活跃的地区建造费用更高。劳动力和材料成本不尽相同，它们的影响也因本地化程度即核电厂部件在本地制造或采购的百分比而异。对核电投资的补贴和财政担保在国家间和地区间均有差别。监管要求可能不一样，监管要求的可预测性也可能不尽相同。经验通常可以减少不确定性，图 A-1 似乎就反映了这一点。在建设新反应堆方面拥有最新经验的亚洲地区的估计成本最低，不确定性最小。最新经验最少的北美洲地区的估计成本最高，不确定性也最大。

48. 合同安排也影响估计成本。如果供应商将任何竣工风险的价格均计入总承包合同，则总承包合同可能比“成本加合同”要昂贵。汇率、通货膨胀预期以及它们对不同成本组成部分的差别性影响会带来更多的差异。

49. 技术不同，成本也不同。成熟设计可能比首座反应堆的成本要低，而建造一座这样的首座反应堆可能又比以后建造同一设计的反应堆成本高。不同估计成本在预测成本将如何随着经验而降低时计入的学习速度也不同。

50. 角度的不同也可导致估计成本的不同。英国可持续发展委员会 2006 年的一份报告称，反应堆系统供应商在市场的明显刺激下，特别是在作出合同承诺前，往往低估费用。⁸而电力公司往往较为保守。

估计成本的提高

51. 推动新反应堆估计成本提高的可能因素是越来越供不应求的商品市场和 2008 年大部分时间里国际钢铁、水泥、能源和其他建设投入价格的暴涨。这些成本的增加还影响到其他类型电厂的估计成本，但由于核电的基建成本较高，故其受到的影响更大。⁹

⁸ 英国可持续发展委员会，《核电在低碳经济中的作用 — 报告四：核电的经济性》，苏塞克斯大学科学和技术政策研究所和国家经济研究协会经济咨询中心编写，2006 年 3 月。

⁹ 不过，从寿期和发电成本看，核电厂受到的影响最小，因为它们每发 1 度电对特定材料的需求最少。

2008 年底，大部分商品价格的上涨发生逆转¹⁰，部分系周期性原因所致（以前高昂的价格既刺激了生产能力的增加也降低了需求），部分系金融危机所致。

52. 商品价格的变化无常本身也可能推动了应急准备金的提高，从而导致估计成本提高。金融危机可能也产生了类似效应。

53. 估计成本的提高可能还是因为过去几年中全球核市场已从买方市场变为卖方市场，这种变化总体上给价格造成了上涨压力。供应商的订货簿达到了 20 世纪 70 年代末期以来未曾有过的水平。由于重型锻件制造能力有限，建造周期超过 50 个月的情况已司空见惯。

54. 推动总估计成本提高的另一个因素可能是这些估计成本更多地来自欧洲特别是北美洲，这两个洲相对于亚洲缺乏近期建造经验并且采用了新型反应堆设计，这些可能推动了图 A-1 所示估计成本的提高。

55. 最后，随着项目离执行期越来越近，更多地反映电力公司的成本保守而不是供应商的乐观评价和一些政府与学术研究机构的技术乐观思想的近期估计成本的比重可能会更大。

A.4.2. 安全性¹¹

56. 核电营运者联合会公布并复载于图 A-2 和 A-3 中的安全指标在 20 世纪 90 年代得到了明显改进。最近几年，一些领域稳定地保持了这种状况。但实绩最佳者与最差者之间的差距仍然很大，为继续改进提供了相当大的空间。

57. 原子能机构《2008 年核安全评论》（GC(53)/INF/2 号文件）更详尽地介绍了与所有核应用活动有关的安全信息和最新发展。

¹⁰ 截至 2008 年 11 月，基准铜价自 2008 年 9 月以来已减半，世界钢铁价格自 2008 年 7 月以来已下降近八成。

¹¹ 有关原子能机构核安全活动的更详细资料，可见最新“年度报告”（<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html>）相关部分和 <http://www-ns.iaea.org/>。

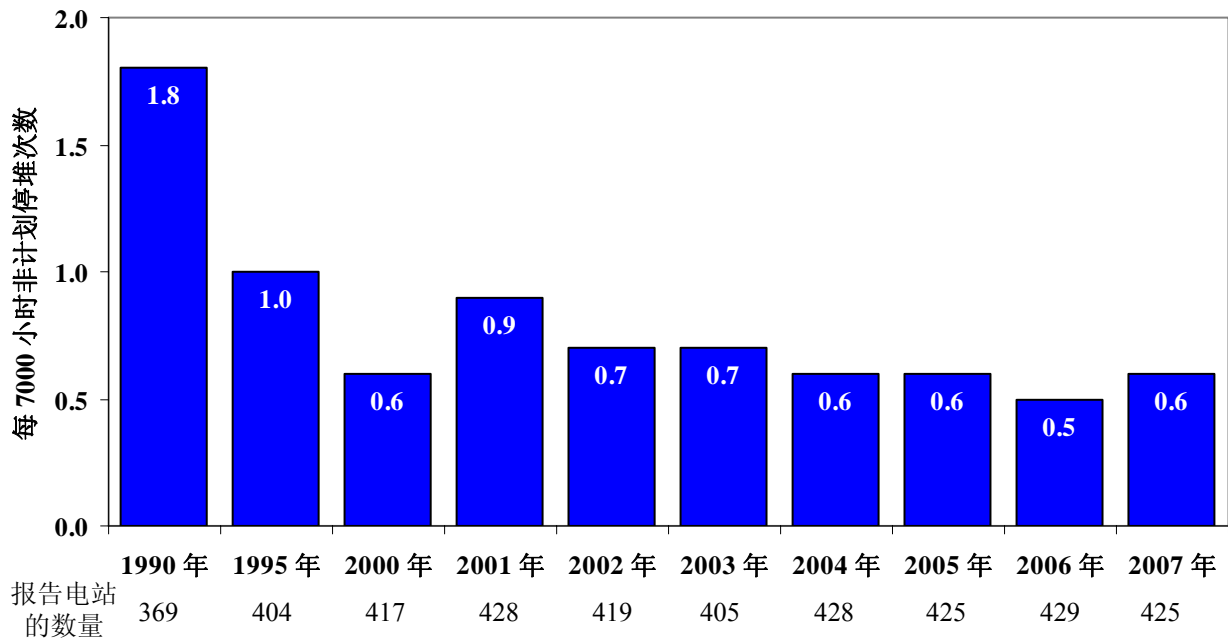


图 A-2. 每 7000 小时临界非计划停堆次数。
来源：核电营运者联合会 2007 年实绩指标。

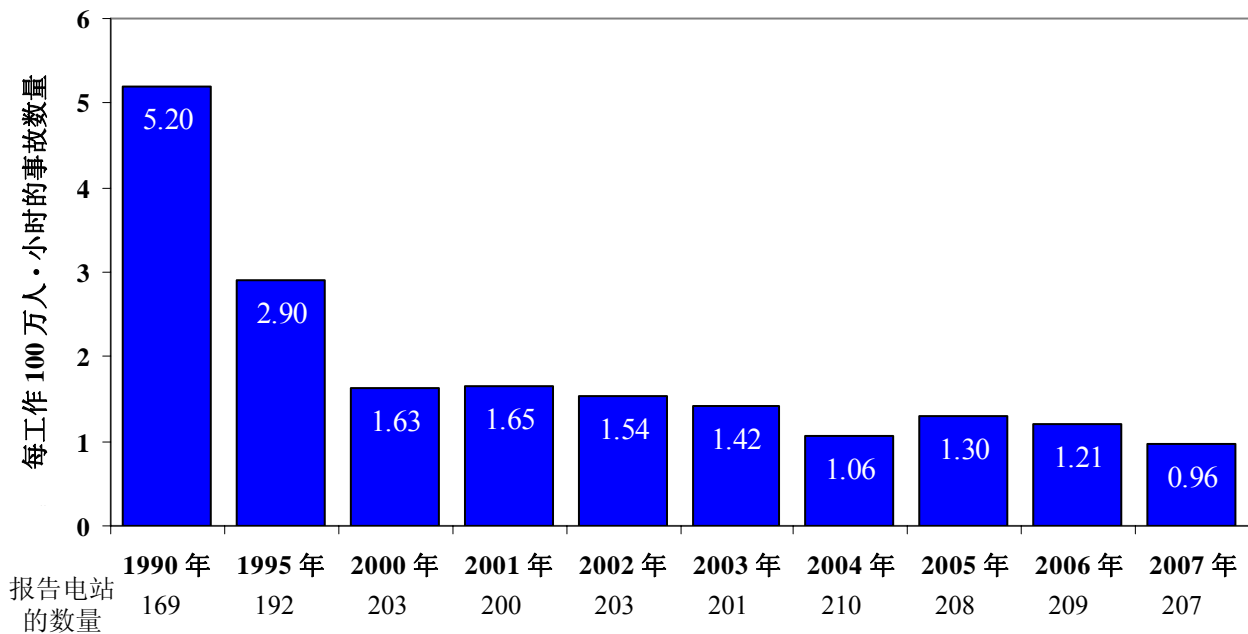


图 A-3. 核电厂每工作 100 万人·小时的工业事故数量。
来源：核电营运者联合会 2007 年实绩指标。

A.4.3. 人力资源发展

58. 目前尚未获得与 A.2 节讨论的任何预测相关的人力资源需求估计。此外，有关当今具备核工业所需各种技能的人数和正在参加相关教育与培训计划的人数的数据也非常少。

59. 一些国家已对具备核电工业所需技能的人员可能出现短缺表示关切。经合组织核能机构 2000 年发表的一份报告首次对其成员国的核教育状况进行了量化，并指出，在大多数情况下，核教育已严重下降，导致核心核技术方面的专门知识和能力越来越难以为继。¹² 但经合组织核能机构也指出，技术能力和技能的总体下降因各国核电计划的实力不一而不尽相同。¹³ 这导致出现了一种矛盾现象，即核电计划发展较快的国家对人力资源短缺表达的关切似乎较少。

60. 对于可能出现人力短缺的关切促使政府和工业界采取了吸引学生和扩大核相关领域教育与培训的举措。根据已有的数据，这些举措似乎取得了成效。图 A-4 显示了美国获得核工程学位的毕业生人数，这主要归功于大学反应堆基础结构和教育援助计划。

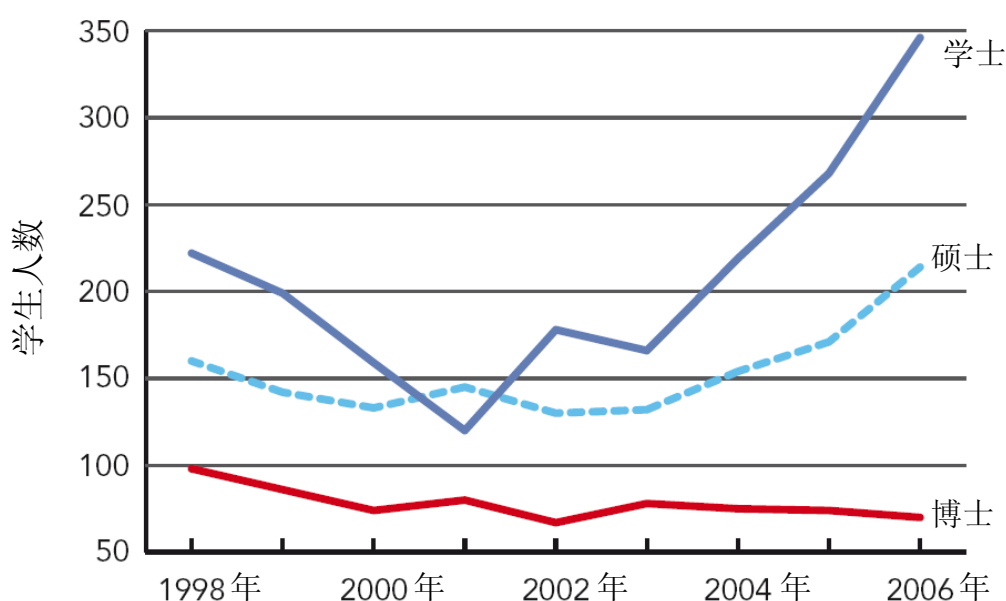


图 A-4. 美国大学获得核工程学位的人数。(来源：经合组织核能机构《2008 年核能展望》，法国巴黎，2008 年。)

61. 如果 A.2 节所述核电高值预测实现，则将须以若干倍的力度推广图 A-4 所反映的成果。这一挑战将是巨大的，但并非前所未有。例如，原子能机构的高值预测将要求每年平均建设 17 座新反应堆，这实质上与 20 世纪 70 年代的年均 16 座新反应堆相当。此外，在高值预测中，核电在全球发电总量中的份额在 2030 年之前仍将几乎保持稳定，这意味着其他电力来源及其人力需求的增长速度将与核电相同。核电面临的挑战并不具有特殊性。

¹² 经合组织核能机构《核教育与培训：应予关切吗？》法国巴黎，2000 年。

¹³ 经合组织核能机构《2008 年核能展望》，法国巴黎，2008 年。

A.4.4. 公众对核能的接受度

62. 原子能机构为正在考虑引进核电的国家编写了导则¹⁴，其中的第一个问题被称为“国家立场”：即“政府应当通过一项发展核电计划的明确的意向性声明并在当地、全国和国际上宣传这一意向。”对已经拥有核电的国家或许也可同样提出类似建议，支持核电的所有政府均应寻求全国的广泛支持。

63. 确定国家对核电的广泛支持是否与 A.2 节讨论的不断提高的预期相匹配的最常见办法是开展舆论调查。但这也存在着缺点。人们所作的回答可能取决于问题的提问方式，而对于一些回答应如何解释，甚至连专家都可能发生分歧。尽管如此，还是有一些常用技术来消除因例证选择、问题提问方式和结果解释而导致的偏差。

64. 图 A-5 和图 A-6 显示了最近的趋势，在无时序数据的地方，则简要显示在已经利用核电的国家（图 A-5）和一些无核电国家（图 A-6）中公众对核能的接受度。纵座标值即公众接受度指数为所审查的特定国家和特定年份的调查平均值，通常以 0（完全反对）至 100（完全赞成）为标度。

65. 已有核电计划国家（图 A-5）的公众接受度指数一般高于无核电计划国家（图 A-6）的公众接受度指数。

66. 在图 A-5 所示有核电计划的 12 个国家中，多数国家的公众接受度在 2008 年均有所提高。只有西班牙和德国例外，这两个国家都制订了逐步取消核电的政策。图 A-5 中制订了逐步取消核电政策的第三个国家瑞典却对核电给予了更有力、更稳定且略见增加的支持。

67. 在图 A-6 所示无核电计划的七个国家中，埃及、印度尼西亚、意大利、波兰和泰国这五个国家正在考虑启动或重启核电计划。这五个国家的公众接受度指数均高于或接近 50%。

68. 在制作图 A-5 和图 A-6 时审查的调查细节中包含着一些深刻见解，而不仅仅是这两个图中的综合结果所揭示的情况，它们可有助于针对具体情况设计公众宣传计划。例如，有关匈牙利的结果显示，其公众接受度在 2003 年发生燃料净化事故后降到了较低水平，后来又相当快地得到恢复。

¹⁴ 原子能机构《国家核电基础结构发展中的里程碑》，“核能丛书”第 NG-G-3.1 号，奥地利维也纳，2007 年。

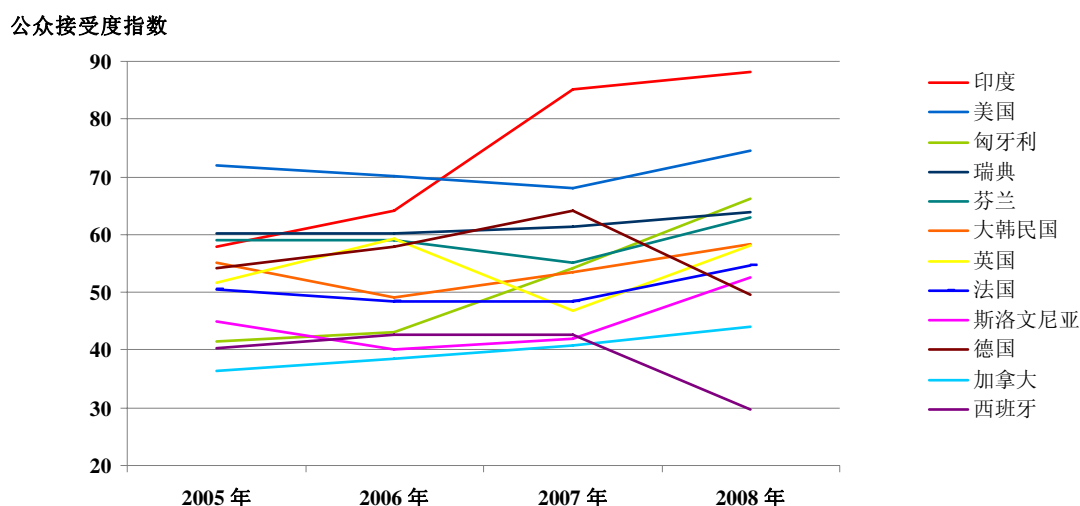


图 A-5. 一些利用核电国家的公众接受度。

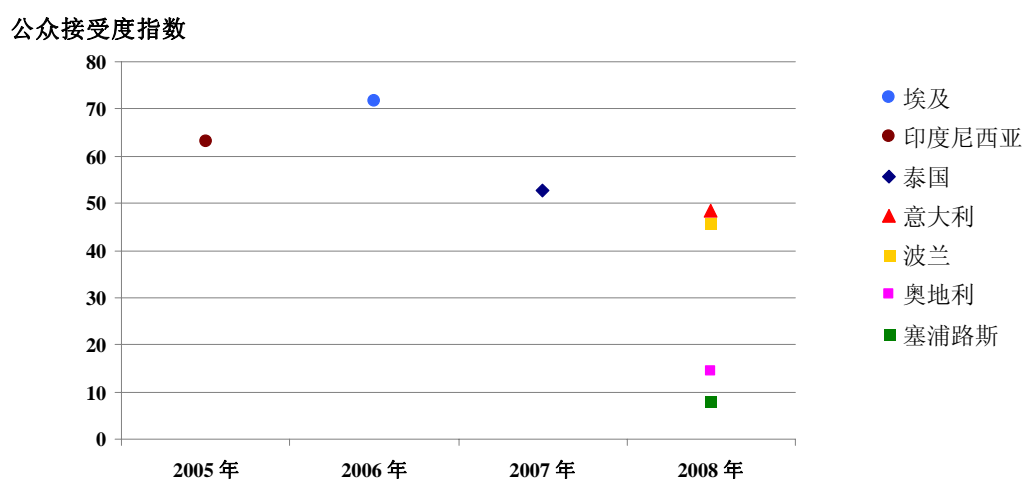


图 A-6. 一些无核电计划国家的公众接受度。

B. 先进的裂变和聚变

B.1. 先进的裂变¹⁵

B.1.1. 水冷堆

69. 中国 2008 年开始建造的所有六座反应堆均为 1000 兆瓦（电）压水堆。这种堆是以经改造的第二代技术为基础的渐进型设计。基于 AP-1000 技术的首个第三代压水堆项目正在顺利进行，并于 2009 年开始建造。

¹⁵ 有关原子能机构先进裂变堆活动的更详细资料可见最新“年度报告”的相关部分 (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html>)。

70. 在日本，三菱重工为美国市场开发了 1700 兆瓦（电）型先进压水堆，即 US-APWR，从而在 2008 年启动了美国核管会设计认证过程。欧洲型压水堆，即 EU-APWR，也于 2008 年提交，供按照“欧洲电力公司要求”进行评定。

71. 在大韩民国，2008 年开始建造第一座先进动力堆新古里 3 号机组 APR-1400。

72. 在俄罗斯联邦，2008 年开始建造首批水-水型动力堆 WWER-1200 机组，即新沃罗涅日二期 1 号机组和列宁格勒二期 1 号机组。2007 年开始建造的首批浮动式 KLT-40S 型反应堆（两座各 35 兆瓦（电）反应堆）的承包商和场址均已变更，其目标部署日期也从 2010 年改为 2012 年。

73. 2008 年，对美国型欧洲压水堆开始了美国核管会设计认证过程，对 AP-1000 设计认证修改的申请工作也已启动。作为向美国核管会提出预先申请的一部分，提交了关于西屋公司 335 兆瓦（电）一体化压水堆（称作“国际创新和安全堆”）的新文件。

74. 在加拿大，加拿大原子能有限公司正在发展一种先进坎杜堆（ACR），这种反应堆采用了非常高的部件标准化和稍加浓铀，以便对使用轻水作为一次冷却剂进行补偿。2008 年，加拿大核安全委员会开始对先进坎杜堆 ACR-1000 进行设计审查。

75. 印度有两座 540 兆瓦（电）重水堆在运行。印度还在设计一个渐进型 700 兆瓦（电）重水堆和一座先进重水反应堆，它们将使用钍，利用重水慢化，并在垂直压力管中盛装沸轻水冷却剂和安装非能动安全系统。

B.1.2. 快中子系统

76. 2008 年，65 兆瓦（热）（20 兆瓦（电））池式中国实验快堆完成了部件安装工作，目前正在开展调试活动。250 吨核级钠已运往该设施，一回路和二回路的钠注入已于 2009 年 4 月进行。

77. 印度卡尔帕卡姆 500 兆瓦（电）原型快中子增殖堆的坑室已于 2008 年完成，并在该坑室中安装了安全容器。作为核岛组成部分的原型快中子增殖堆厂房的土建施工正接近完成。热挡板、隔热板、钠贮罐、氩气缓冲箱、熔化堆芯收集器和堆芯支承结构已经建成，主容器也正接近完成。

78. 日本完成了文殊堆的整修和部件试验。大多数全系统试验也已完成。不过，原定的重新启动日期从 2008 年推迟到 2009 年。日本还发起了国家快堆循环技术开发项目，以实现快堆技术的商业化。

79. 在俄罗斯联邦，别洛雅尔斯克 BN-800 快堆的反应堆室和汽轮机大厅的基板已经铺设完成。计划于 2012 年进行调试。

80. 比利时推进了次临界实验快堆 MYRRHA 的主系统、堆芯设计和工厂总体布置方面的设计工作，以便使其能够与欧洲委员会实验加速器驱动系统项目保持一致。为了试验次临界度监测情况，正在建造一座实验设施 GUINEVERE，并配置了一台连续氩

加速器。该加速器装备有安装在铅冷、快中子次临界增殖系统中的钍-氟靶。GUINEVERE 定于 2010 年 3 月投入运行。

B.1.3. 气冷堆

81. 2007 年，对南非球床模块式反应堆完成了氦试验设施的调试，这使得开展有关反应性控制系统、备用停堆系统和燃料装卸系统的关键部件的首次全规模运行试验成为可能。2008 年，南非国家核监管局为佩林达巴的先进燃料涂敷设施颁发了热调试许可证，并允许该项目开始制造球型燃料。

82. 在日本，已定于 2009 年底对高温工程试验堆进行了更苛刻的试验，试验期为 90 天，其中共有 50 天温度处于 950℃ 下。2007 年，完成了出口冷却剂温度达到 850℃ 的首次 30 天满功率试验，并确认了在包覆燃料颗粒制造方面的改进之处。

83. 在美国，下一代核电厂项目于 2008 年达到了一个重要里程碑，即在爱达荷国家实验室先进试验堆上实现了长辐照期（9% 燃耗）零燃料破损。这是在示范三层各向同性燃料安全方面取得的一项重大成就。下一个目标是在 2009 年 9 月之前达到 16—18% 的燃耗。

84. 在中国，中华人民共和国国务院已批准了示范高温气冷堆的实施计划。目前正在对该项目许可证进行审查，预计于明年晚些时候建造。

B.1.4. “革新型核反应堆和燃料循环国际项目”和“第四代国际论坛”

85. 原子能机构“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”完成了关于评定革新型核能系统方法的《应用革新型核能系统评定方法导则》，这是一份内容广泛的手册，已于 2009 年初作为原子能机构第 1575 号《技术文件》出版。利用“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”方法完成了一项国家联合评定研究和六项国家评定研究，目的是确定发展链条中的薄弱环节，即每起案例中需要进一步研究与发展的优先领域。“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”已于 2009 年初发表一份“发展中国家关于未来核电厂的用户通用考虑因素”的报告，除该项目目前的 30 个成员外，还有 26 个国家参与了该报告的起草工作。俄罗斯政府首次决定向 2008—2012 年“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”提供多年期支助。

86. “第四代国际论坛”通过签订系统合同和协议对 2002 年选取的六类下一代核能系统的研究活动进行了协调。“第四代核能系统技术路线图”将这六类核能系统描述为：气冷快堆、铅冷快堆、熔盐堆、钠冷快堆、超临界水冷堆和超高温反应堆。2008 年，中国签署了加入超高温反应堆协作工作的“系统安排”。法国、日本和美国正在协调开展有关原型钠冷快堆的工作，包括原型和相关基础设施的设计目标、安全原则、系统配置、功率水平、燃料类型、通过革新降低成本、进度和目标日期。关于系统整合、安全和运行、先进燃料、核电厂配套子项和“全球铀系元素循环国际论证”的具体项目正在执行之中。

B.2. 聚变

87. 2008 年 2 月，国际热核实验堆国际聚变能组织正式申请在法国卡达拉什建设一座实验聚变堆 — “国际热核实验堆” 的建造许可证。

88. 2008 年 10 月，在瑞士日内瓦举行了第二十二届原子能机构聚变能会议暨纪念国际聚变研究五十年。2008 年聚变能会议是在 1958 年联合国第二次和平利用原子能国际会议的另一地点举行的。在那次会议上聚变被首次解密并开放进行公开讨论。在 2008 年聚变能会议上创记录地提交了 500 多篇科学论文。

89. 也是在 2008 年聚变能会议上，原子能机构与国际热核实验堆国际聚变能组织签订了合作协定。合作的范围包括交流信息、分析聚变对未来核电假想方案的贡献、培训、出版物、组织科学会议、等离子物理学研究与模拟以及聚变安全和保安。该协定旨在促进国际热核实验堆各方与对聚变研究感兴趣但不是国际热核实验堆成员的原子能机构其他成员国之间的相互联系。

90. 除国际热核实验堆方面的进展外，比利时、巴西、加拿大、中国、捷克共和国、伊朗伊斯兰共和国、葡萄牙、俄罗斯联邦、泰国和英国的聚变实验室也在发展小型聚变装置的用户研究网络。原子能机构通过联合实验参与并除其他外，特别协调了小型托卡马克研究，以促进国际协作、网络规划和年轻科学家的教育工作。

C. 原子数据和核数据

91. 随着对核电、聚变进展和新一代裂变堆的期望不断增加，在 2008 年反应堆物理学国际会议上发表的许多论文和进行的讨论都突出强调了为满足对新的和更新的锕系元素裂变和俘获截面数据的需求、对减少不确定性的需求和对开展乏燃料再循环所需的数据的需求而正在开展的努力，包括在原子能机构进行的努力。

92. 在 2008 年国际聚变研究委员会原子和分子聚变数据分委员会会议上讨论了聚变堆中导致尘埃粒子形成的等离子体—器壁相互作用的问题以及氙滞留、自燃行为、操作和吸入的相关安全问题。建议原子能机构启动多国协调研究项目来研究尘埃的大小、组成和来源以及钨作为聚变装置的一种候选材料的光谱、碰撞和溅射数据（见图 C-1 关于如何使用这类数据的一个实例）。此外，为了量化对新聚变装置结构部件的辐射损伤和这种结构部件的活度，有必要更新和扩大目前用于国际热核实验堆相关设计研究和材料性质基准测试的编评核聚变数据库。

93. 作为对在《欧洲聚变发展协定》下正在开发的模拟聚变装置提供超级计算机支持的一部分，一个高性能聚变计算中心已于 2009 年 5 月在德国于利希超级计算中心落成。

94. 利用加速器产生的带电粒子对患者肿瘤病灶进行直接辐照提供了对靶区的高精确剂量施用，同时不伤及周围的健康组织。两个新的强子 — 治疗中心不久将在德国海德堡和意大利帕维亚投入运行。由于认识到准确的数据对于设计和规划患者治疗设施的必要性，正在优先重视建立经协调的国际努力，以量化和建议供医学应用的关于带电粒子相互作用的更新数据。

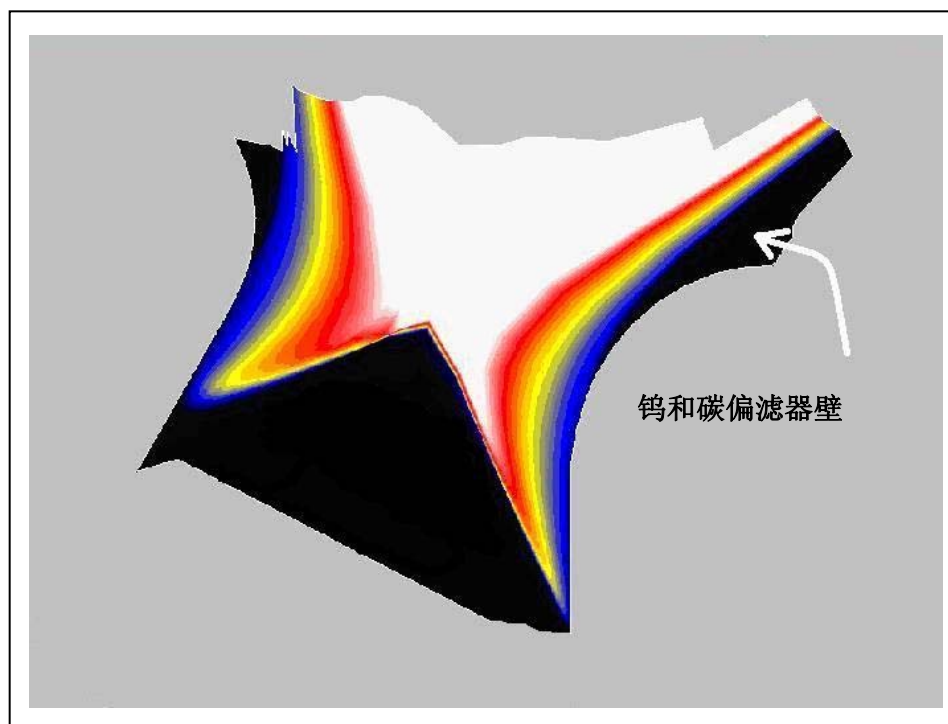


图 C-1. 聚变装置偏滤器区温度剖面的计算机模拟。温度范围从 200 000 开尔文（蓝色）到 1 000 000 开尔文（红色），接近太阳中心的温度。这项研究采用于利希研究中心的 B2-IRENE 计算机模型进行计算，并需要大量可靠的原子数据和分子数据，其中许多数据出自原子能机构最近的一系列协调研究项目并汇编而成。

D. 加速器和研究堆的应用

D.1. 加速器

95. 在发展中国家，建设核科学能力的一个重要途径是通过建立加速器设施和将其有效用于核教育和培训以及掌握所有相关应用领域的实际经验。为了进一步扩大发展中国家的受教育机会，原子能机构促进开展国际合作，利用现有的专门知识和设施（如在南非）使潜在的地区伙伴（如加纳和尼日利亚）受益。

96. 所开发的同步加速器辐射源分析方法正在促进加深对新型材料和生物材料的了解。利用较小规模的常规 X 射线源开发的新技术目前正用于像德国 ANKA 这样的同步加速器，并且还将用于意大利的 Elettra 设施。这种方法利用同步加速器辐射中可利用的 X 射线的优良特性，从而增加分析的敏感度和可靠性。

97. 离子束技术和仪器仪表的进步越来越多地利用生物医学研究中的聚焦质子离子束，关于辐射对活细胞影响的研究尤其如此。世界上首个用于基础研究的垂直扫描聚焦纳米束于 2008 年 11 月在英国开始运行。它将提供关于癌肿瘤辐射敏感性、可能导致癌症的过程以及低水平辐射照射风险的新数据。新的质子纳米束将首次为研究人员提供纳米大小的质子束，以便以高精的方式瞄准和辐照人体细胞的特定部位。它将澄清化学治疗药物与辐照之间的相互作用，同时帮助临床医师测试不同癌症治疗方法的功效。

D.2. 研究堆

98. 研究堆的一个主要用途是生产放射性同位素。2008 年，用于同位素生产的几座大型老化反应堆无法使用造成了种种问题，并引起了对于关键医学和工业用放射性同位素（特别是钼-99）供应安全的关切。澳大利亚新型开式水池轻水堆于 2006 年首次达到满功率，这是惟一可能的即时扩充现有能力的方法。许多国家反应堆中心正在通过增加利用目前利用不足的反应堆的方式与原子能机构一道探索可能的扩充能力的办法。关于放射性同位素的 I 节提供了更多的资料。

99. 摩洛哥第一座核研究堆 — 铀氢锆 Mark II 型研究堆（2 兆瓦）— 于 2007 年 5 月首次达到临界，6 月实现满功率并于 2007 年 9 月完成了所有必要的研究堆试验。该反应堆坐落在距拉巴特以北约 25 公里处的 Maâmora 核研究中心。它使用低浓铀燃料，并设计了今后升级到 3 兆瓦的计划。该设施将用于开展人员培训、同位素生产、中子活化分析和非破坏性检验等分析服务以及固体物理学和反应堆物理学的基础研究。

100. 考虑到据预测研究堆将从如今的 245 座减少到 2020 年的 100 到 150 座之间，需要加强国际合作才能保证广泛获得并高效利用这种设施。为此，原子能机构已开始建立若干地区网络：东欧研究堆倡议、加勒比研究堆联盟、地中海研究堆利用网络和波罗地海研究堆利用网络。另外一个网络“工业伙伴残余应力和纹理分析网络”侧重于特定应用，而不是某个地区。这些网络还将有助于加强现有设施、发展新设施和改善没有研究堆国家的准入。摩洛哥的新反应堆将在分时的基础上对国家和国际用户开放，并将进一步促进开展地区协作、建立网络和研究堆联盟。

101. 根据“减少全球威胁倡议”，“降低研究堆和试验堆燃料丰度计划”将研究堆从使用高浓铀燃料转换为使用低浓铀燃料。截至 2008 年底，全世界有 62 座一直利用高浓铀燃料运行的研究堆被关闭或转换为使用低浓铀燃料，另有 39 座研究堆计划转换为使用现有合格的燃料。“降低研究堆和试验堆燃料丰度计划”在 2008 年 10 月在华盛顿哥伦比亚特区举行的年度会议期间举行了该计划 30 周年的庆祝活动。

102. 另外 28 座研究堆的转换将需要超高密度先进铀-钼燃料，但这种燃料仍然需要进行开发和合格认证。20 世纪 90 年代初期就开始了这种燃料的研制工作，但却遇到了由于辐照过程中在燃料和铝基体之间形成的反应层出现膨胀而导致的重重困难。一个包括阿根廷、比利时、加拿大、法国、德国、大韩民国、俄罗斯联邦和美国的国际燃料开发工作组正在协作开展这方面的研究。在若干前沿领域已经取得了实质性进展，但

要想实现“降低研究堆和试验堆燃料丰度计划”关于到 2011 年底交付合格燃料的目标，仍然需要取得进一步的进展和开展进一步的重要试验。

E. 粮食和农业领域的核技术

E.1. 改进牲畜的繁殖力和健康

103. 核技术及相关技术有助于提高牲畜的繁殖力。碳、氢、硫、磷或氮的同位素被用来研究饲料营养物质的转化和摄入情况，并用于评估牲畜瘤胃中的微生物在饲料利用方面的作用。反刍动物依靠生活在其消化道中的这些微生物将饲料成分转化为可用的能源和蛋白质。

104. 肉质更精瘦、产奶更多或抗疾病等有利遗传特性的确定和选择可以通过直接标记脱氧核糖核酸的方法进行。同位素标记方法被用来确定亲本或进行产品溯源，以及帮助发展中国家取得对出口市场的准入。

105. 稳定同位素作为大自然的“生态记录器”有益于开展动物迁徙研究。碳-13 和氮-15 特征可以显示候鸟的来源地和栖息地，从而使得可以对疾病（如禽流感）的传播进行风险评估和预测。目前最有效的示踪剂是在代谢缓慢、季节性生长的组织如羽毛和脚爪中发现的氢同位素。特定鸟群或生态系统的同位素特征一旦确定，其任何个体均可提供关于该种群或从该基准点全球迁徙的信息。水氢氧同位素全球格网利用原子能机构和世界气象组织（气象组织）的“全球降水同位素网”数据库建成，并与不同地点的候鸟种群的羽毛特征进行比较，以确定羽毛的生长地点，从而对候鸟的来源进行跟踪。¹⁶

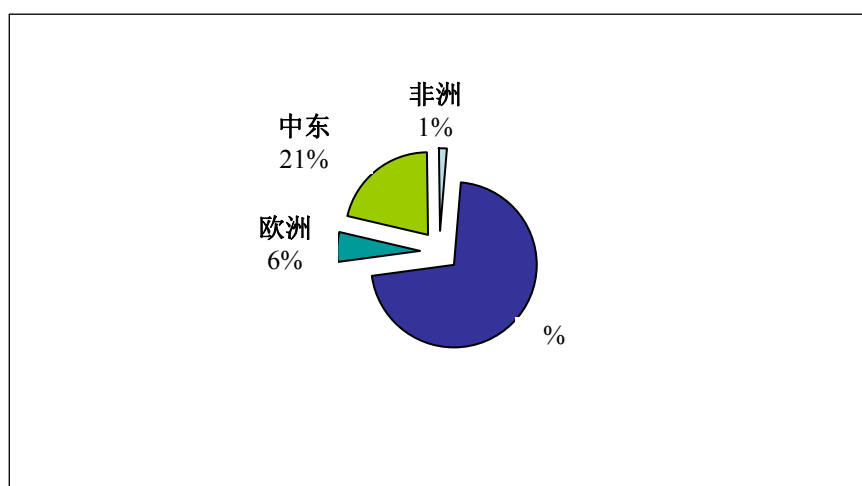


图 E-1. 2003—2008 年家禽中爆发的 H5N1 亚型禽流感地理分布情况。

资料来源：世界动物卫生组织（国际兽疫局）。

¹⁶ 有关原子能机构在该领域工作的进一步资料，请访问以下网站：<http://www-naweb.iaea.org/nafa/aph/index.html>。

E.2. 疫苗研究

106. 通过辐照使病原体失活的方法正在给疫苗研究带来革命性的变化。经过这样处理的疫苗引起类似于对活病原体的保护性免疫反应，而且优于通过热处理或化学处理可以达到的效果。辐照为预防基因工程疫苗基本不成功的针对牛的那加那病、口蹄疫、肝片形吸虫病和犬新孢子虫病等疾病提供了新的可能。最新研究显示，为改变病原体的基因表达而精心施用的辐照剂量导致加强了保护。

107. 种类和个体在抵抗传染病方面的遗传差异的充分证据提供了通过确定与这种抗病性有关的遗传标记处理动物疾病的替代方法。这种方法涉及将放射性标记的核苷酸用于脱氧核糖核酸杂交如脱氧核糖核酸表征以及辐射杂交制图程序。取得牲畜种群的遗传信息对于利用促进具有重要经济意义之特性的遗传变异带来的好处至关重要。根据选定的染色体布置分子标记的方法可以极大地促进这一过程。

108. 通过脱氧核糖核酸标记物的存在或通过比较基因制图以确定具体特性候选基因的方法，可以检验通过杂交细胞系中染色体的辐射分片所取得的辐射杂交图谱。尽管在牛基因组测序方面取得了相当大的进展，但对绵羊和山羊却不能采取这样的方法。现在迫切需要对与抗病性和繁殖力相关的质量性状位点（奶产品以及胴体和羊毛品质）进行辐射杂交制图。通过投资这些技术以及利用磷-32、硫-35、硫-35 蛋氨酸和碘-125 进行分析的方法来监测生产率和繁殖情况，将有可能提高实绩。

E.3. 虫害防治

E.3.1. 促进昆虫不育的 X 射线辐照

109. 目前在取得和运输同位素辐照器方面遇到种种困难，使得 X 射线辐照作为 γ 射线辐照替代方案的评价工作变得更为紧迫。通过利用经过改进的旋转系统和采用纳入了钢制滤材的碳纤维增强树脂制作的新密闭容器，已使 RS2400 型昆虫不育 X 射线辐照器的改制工作取得了进展，导致可接受的剂量均匀度比不到 1.3。此外，对防治计划进行修订使得可以选择给昆虫施用预定的能量。

110. 采用生物学检验方法评价了 X 射线辐照系统和 γ 射线辐照系统对作为昆虫不育技术作用对象的昆虫特性的相对有效性。在 X 射线机或 γ 辐照器中对同龄的果蝇蛹按同样的名义剂量进行了辐照，然后在同样条件下做了成虫产生率、存活率和不育率的比较评定。还开展了关于经 γ 射线和 X 射线处理过的雄虫之间交配竞争性的野外笼养试验，以评定模拟野外条件下处理的差异。处理后进行的剂量测定程序确定了虫蛹所接受的实际剂量。¹⁷ 代表亚洲、非洲和美洲主要果蝇虫害的瓜实蝇、地中海果蝇和按实蝇（南美果蝇）关于残留繁殖力和正常成虫产生水平和行为的初步数据表明，对这三个种群而言， γ 射线和 X 射线之间不存在任何差异。

¹⁷ 有关昆虫不育的资料和昆虫不育数据库的使用，请访问以下网站：<http://www-naweb.iaea.org/nafa/ipc/index.html>。

E.3.2. 利用昆虫不育技术防治采采蝇

111. 正在优先领域努力支持非洲成员国转让防治采采蝇的昆虫不育技术。这包括埃塞俄比亚（舌蝇属淡足舌蝇）、南非夸祖卢-纳塔尔地区和莫桑比克（*G. austeni* 舌蝇和 *G. brevipalpis* 舌蝇）以及塞内加尔。塞内加尔政府制定了一项旨在从位于达喀尔东北牲畜密度高的尼亚伊地区消除 *G. palpalis* 舌蝇的计划。

112. 在塞内加尔，昆虫学初始数据收集工作使得可以借助现代空间工具、数学模拟技术和种群遗传学制作精确的采采蝇分布图，结果表明尼亚伊地区的采采蝇种群已与该采采蝇带其余地区完全隔离开来。这使得有机会创建可持续的无采采蝇区。调查显示，昆虫不育技术将成为综合治理方案的一个必要组成部分；源于布基纳法索的采采蝇试验性放飞计划在 2009 年初进行。

E.4. 食品质量和安全

E.4.1. 可追溯性作为防止食品污染和加强食品安全的方案

113. 利用农业化学品如农药和兽药对于农业生产至关重要，在考虑到有必要提高生产率以应对当前的全球粮食危机的情况下尤其如此。但这些物质在食品中的残留物以及其他自然和环境污染物如真菌毒素和持久性有机污染物却对人类健康带来危险，而且可能妨碍农业贸易。气候变化等全球因素和不断变化的作物和牲畜生产实践也加重了食品污染问题。

114. 要想控制这些危害，就必须采取考虑到整个食品生产链的统筹兼顾方案，而这种方案又取决于是否适用各项导则以最大程度地减少危险，以及是否采用反馈机制以确保实施有效的控制。该方案中一个必不可少的要素是可追溯性，即是否有能力进行食品溯源，从而促进在探测到污染时采取纠正行动。同位素技术在这一领域有着明显的优越性，在与常规技术结合起来应用时，该技术可以提供强有力的食品污染物溯源机制和监测方法。即使在食品安全不是首要问题时，通过利用稳定同位素比技术确定食品来源和真实性的能力对出口国也可能具有重要意义，因为这可以给特定地区的商品带来可观的附加值。可以单独利用同位素技术调查导致食品污染的环境因素，考虑到气候变化的速度，这一点现在变得越来越重要。

115. 稳定同位素（如锶）比较测量技术已证明属于进行各种食品溯源的杰出手段。植物中锶同位素的相对丰度是受植物生长环境中锶同位素组分支配的。植物中测到的锶同位素比提供的是来源地的“基因分布图”。这已为植物（如芦笋）和动物产品所证实，在动物产品中，牛奶中的锶同位素特征与放牧牛的场所有关。其他同位素比如氢/氘/氚、氮-14/氮-15、碳-13/碳-12 以及氧-18/氧-16 都可以用同样的方式加以利用，或者用于提供补充数据。

E.5. 作物改良

116. 具备所期望特点的诱发突变体可以在促进各种粮食作物生产方面发挥重要作用。¹⁸ 近年来，分子生物学的迅速发展已导致生物体遗传组成方面的资料进入公共领域。在这个“基因组时代”，科学家正在破解越来越多生物体包括作物的遗传密码。

117. 特别有价值的就是利用各种方法促进自然突变，加强或抑制遗传特性，以产生经过改良的作物品种。突变诱发的重点正在从传统的拓宽育种作物的遗传基础转向包括分子生物学研究，并已导致涉及诱发作物突变形成的科学工作的大量增加。

118. 当前提高突变诱发辅助育种效率水平的趋势是从战略上将新颖生物技术的相关方面纳入这一过程。存在两种这样的战略：一种涉及在上游研究中快速确定遗传组成的突变部分；另一种涉及将生物技术无缝纳入突变体的生成和确定工作之中。下文对这两种战略作了回顾。

E.5.1. 利用诱发突变体进行基因识别和功能阐释

119. 传统的作物改良诱发突变战略被称为“正向遗传学”，涉及在观察突变体改进特点的基础上再现基因的作用。随着分子生物学资料的普及，现在越来越常见的是开展反向研究，即从分子级的改进研究入手并将这种改进与作物已改变的特点联系起来。

120. 这种较新的战略被称为“反向遗传学”，它依赖于能否获得具有良好特点的水稻、玉米、大麦和小麦等主要作物突变体种群。已经制订了规程，以允许相应大量增加程序，促进遗传组成目标地区数以千计突变研究用突变体的同时查询。反向遗传学已成为用于发现基因和阐释功能的一个关键手段。

E.5.2. 强化突变诱发的综合技术

121. 提高日常应用突变诱发效率的主要目的之一一直包括形成大规模突变体种群和在最短时间内确定所需的突变体。细胞和组织生物学方面的进步特别是利用每个个体细胞长成整株植物的能力（称为“全能性”的现象）方面的进步正带来大规模突变体种群的迅速形成。

122. 在实验室试管的无菌环境中可以长出数以万计的突变体，而一旦从中提取出脱氧核糖核酸，则要么在试管中对其进行某些特性（如抗病毒、耐盐）方面的测试，要么利用中性分子生物学工具在预先确定的遗传组成部分进行突变查询。无论采用哪种方式，都会大大减少在野外评估的种群规模。这样既节省了时间，也节省了人力和财力资源。当前的研究趋势是将主要作物所用的这些手段汇集成技术程序包，从而提高突变诱发辅助育种的效率。

¹⁸ 可从最新“年度报告”（<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html>）的相关部分或在 <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC53/Agenda/index.html> 获得更多资料。

E.6. 可持续的水土管理

E.6.1. 了解在不断变化的气候条件下微生物在土质和土壤肥力方面的作用¹⁹

123. 通过分解作物残茬、牲畜粪肥和土壤有机质，微生物群落在土壤肥力方面发挥了重要作用。这些微生物常常受到气候变化造成的降雨类型和温度场变化的影响。最近在利用碳-13、氮-15 和氧-18 等稳定同位素作为表征微生物群落及其与土壤营养和有机物过程的相互关系的生物标记物即稳定同位素探测方面取得的进步，对于土壤-水分-营养管理具有重要意义。

124. 稳定同位素探测有助于了解土壤微生物群落之间的相互关系及其在土壤碳整合、土壤有机质稳定、土壤肥力和土壤复原力方面的具体功能，并有助于了解促进作物和牲畜生产可持续集约化的土壤生产能力。

125. 稳定同位素探测涉及将一种用稳定同位素标记的物质引入一种土壤微生物群落，以观察被作用物的结果。这样可以对将在受到最少干扰的微生物群落中发生的被作用物同化现象进行直接观察。参加具体新陈代谢过程非常活跃的微生物可以在与实地接近的条件下得到确定。

E.6.2. 稳定同位素示踪剂辅助用于控制农田的温室气体排放

126. 化肥中的氮流失、废水灌溉和粪肥可能导致水污染。通过适当施加氮肥的最佳农业管理实践，以及通过利用河岸地带或宜农山沟中的永久湿洼地消除地表和地下径流中的硝酸盐，可以最大程度地减少上述情况的发生。通过河岸和湿洼地消除硝酸盐受到将硝酸盐转化为氧化亚氮和四氧化二氮的土壤微生物过程的支配。氧化亚氮是一种持久性温室气体和潜在臭氧消耗气体。最近，富含氮-15 的硝酸盐被成功地用于对消除硝酸盐进行量化，而且还对农业集水区永久湿洼地的氧化亚氮和四氧化二氮生产率进行量化。随着氮-15 的使用，湿洼地在硝酸盐浓度没有限制时已被认为属于氧化亚氮排放源，但在硝酸盐浓度较低时可有效地发挥作为氧化亚氮汇聚地的作用。通过利用工程旁路流动方式调节硝酸盐在高峰流动期间进入湿洼地，这种发现提供了介于水质目标（消除硝酸盐）与温室气体排放控制（最大程度减少氧化亚氮排放）之间的湿洼地利用均衡解决方案。这增加了保留时间以及硝酸盐的限制条件，同时又不产生氧化亚氮排放。如果不利用氮-15，农业规划者和资源管理人员将无法把氧化亚氮和四氧化二氮排放与消除硝酸盐区分开来。

¹⁹ 欲了解我们关于土壤和水管理的工作，请见 <http://www-naweb.iaea.org/nafa/swmn/index.html>。

F. 人体健康

F.1. 核医学成像与制药业之间的联系

127. 成像正在日益普遍地被用作一种评定新药物开发的生物标记。随着发展中国家正在越来越多地进行药物开发的临床试验，开发新药品革新型方案具有至关重要性。

128. 成像在药物发现和临床应用的及早开发方面具有根本性作用。在这方面，氟化脱氧葡萄糖以及与计算机断层照相法相结合的正电子发射断层照相法不仅对于诊断疾病和确定病期非常有效，而且对于监测和量化治疗效果也十分有效。在药物开发方面，此举可以转变为确定适合进行临床试验的患者并对其进行分级，然后量化治疗结果。将分级和诊断两者合并或对研究和临床治疗的治疗效果进行量化是一种重要的新发展，既对制药业有潜在的巨大利益，又最终使患者得到很大的好处。²⁰

F.2. 利用核技术为营养学提供支持

129. 非传染性疾病的日益流行正在导致严峻的健康挑战。工业化国家以及转型中的国家正在与日益增加的一系列疾病包括 2 型糖尿病和心血管疾病抗争。相比较而言，发展中国家面临着营养不足和营养过度共存的情况。这无可争辩地成为全球健康议程上最重要的问题，而且这种情况在许多国家又被艾滋病毒/艾滋病危机进一步复杂化。

130. 最易受到影响的人群是孕妇和授乳妇女及其婴幼儿。最近的技术发展一直侧重于解决婴儿营养和健康方面一个缺失的环节，也就是人体成分评定，以便更好地了解婴幼儿期生长的质量及其与以后慢性疾病发展的联系。核技术为评定人体成分提供了很多所需的手段，特别是在利用稳定同位素技术评定体内总水量和利用双能 X 射线吸收测定法评定骨质量方面尤其如此。这些技术提供了可利用的人体成分评定最高标准，因此被用于验证生物电阻抗分析等替代技术。

131. 在生命的初期，人体的结构和功能决定着短期和较长期的健康结果。身体发育的生物学和健康状况可能受营养（正面或负面）影响的这个“机会之窗”期包括迅速生长的关键时期和胎儿发育期以及婴幼儿生命的头两年时间。在这些“窗口”期间的营养干预为预防早期营养不良的较长期后果包括子宫内发育抑制和发育迟缓导致的后果提供了最佳机会。迫切需要制订有效的战略，在这一关键时期进行干预，以消除慢性病的后续发展。²¹

²⁰ 关于正电子发射断层照相法和相关技术的常见问题，请见 <http://www-naweb.iaea.org/nahu/nm/faqanswers.asp#pet>。

²¹ 为了帮助成员国测定营养水平，原子能机构、美国国际开发署、HarvestPlus 计划和国际生命科学研究所发起设立了一个维生素 A 示踪剂特别工作组，以编写关于适当利用维生素 A 示踪剂（稳定同位素）方法学的文件和《评定状况和评价干预计划的维生素 A 示踪剂稀释方法手册》。

F.3. 核医学定量成像和内照射剂量学方面的进展

132. 长期以来寻求探索的“魔弹”（其中有一种完全靶向的物质能够在不损害健康组织的情况下杀死癌细胞）正在治疗核医学领域虽缓慢但已逐步地成为现实。利用碘-131放射性同位素治疗各种甲状腺疾病的原理 50 年来得到了成功证明。如今，通过生物工程已开发出更多的尖端物质，对一系列范围广泛的疾病进行定向治疗。其中有一些已批准进行临床使用，而目前更多的是在临床试验中进行检验，其中一些试验得到了原子能机构的直接参与。评价这些新放射性标记化合物功效的一个关键问题是对分布进行量化，并且不仅确定对疾病病灶施用的辐射吸收剂量，而且还要确定对重要健康组织的辐射吸收剂量。

133. 核医学影像一般用于确定灌流不足等探测任务，或计算左心室射血分数、标准化摄取值或器官吸收剂量等定量任务。²² 过去 15 年来，在开发精确量化核医学影像方法方面取得了许多进展。然而，这些方法向临床的传播发展缓慢，而且至今没有量化单光子发射计算机断层照相数据或正电子发射断层照相数据的标准化方法。

134. 与用于目视解读的影像相比，获得适合于定量任务的影像往往需要另行处理。这种另行处理常常导致提高分辨率和对比度以及减少伪差（图 F-1）。影像方面的这些改进虽非总是但也往往直接转变为提高探测任务的实绩。使用这类影像的另一个好处是，它们可以提供改进的域场测量一致性，并最大限度减少成像中心、成像设备、扫描方案和患者之间的变异性。

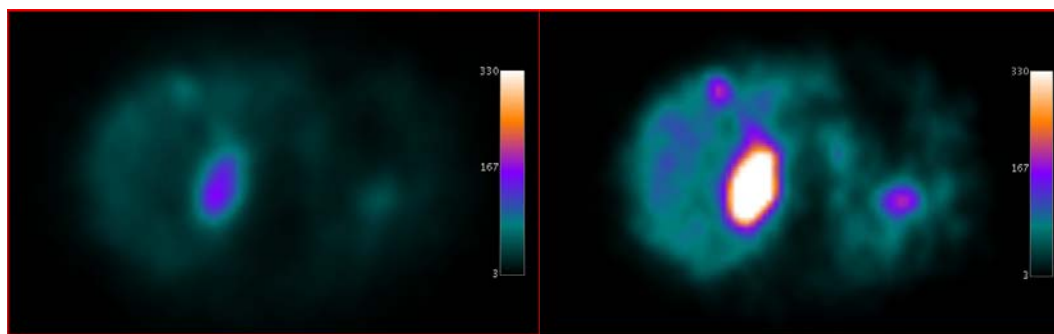


图 F-1. 碘-123 间碘苜蓿：复发嗜铬细胞瘤患者上腹部横断面。左图示出原始单光子发射计算机断层照相影像。右图是利用计算机断层照相获取的组织密度的数据实施校正的影像。这类单光子发射计算机断层照相影像校正能够提供更好的诊断信息和用于更精确地量化放射性药物的摄取情况。（意大利比萨大学医学院）

F.4. 辐射肿瘤学应用方面的改进

135. 综合疗法（外科、放射治疗、化疗、靶向药物治疗）改善了大多数常见癌症患者的存活率。外射束放射治疗方面的进展提高了对患者施用剂量的精度要求。三维适形

²² 更多资料请见 <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC53/Agenda/index.html>。

放射治疗方案在大多数治愈性放射疗法中被视为是标准，而在许多中心，利用强度调制辐射疗法对相当数量的患者进行治疗。

136. 容量弧型调制疗法、与断层照相-治疗革新方法、剂量-个性化立体定向全身放射治疗和四维图像引导放射治疗（将靶体积扩大到包括肿瘤移动范围）相结合的快速弧放射疗法正在引入临床实践。这些疗法使得能够达到最高的一致性和出色的关键结构保护而对邻近正常组织的剂量最小化。记录和核实质量系统的改进软件已经提供使用，从而改善了临床放射治疗过程。

137. 质子中心正在越来越多地建立起来，以开发正常组织保护的高精度应用。在大多数情况下，将需要更多的证据来证明这些方案与常规放射疗法的比较优势。

138. 此外，信息技术也给辐射肿瘤学工作方法带来了变革。在世界范围内，由医院一级采用全国案例记录登记和患者电子档案的情况正在快速发展。²³

G. 环境

G.1. 环境中的“热粒子”

139. 在评定辐射剂量和辐射对环境的影响时，释放的放射性粒子起着重要的作用。“热粒子”系指含有显著数量放射性核素并时而具有非常高放射性活度的放射性小物体。热粒子源自包括核武器试验、核燃料循环释放和涉及核材料的事故等若干可能的源项，含有比散装材料或从这些源项散布的其他粒子群高得多的放射性活度水平。

140. 粒子结合放射性核素的性质和环境行为是受其组成和基体结构支配的，这两个因素是与源项相关且取决于假想的释放方案（图 G-1 和图 G-2）。这些放射性核素的移动性、环境行为、生物可利用性以及生态和健康效应基本上是由显微结构、化学组成和物种形成等粒子的性质决定的。虽然目前很少有关于热粒子对环境影响的资料，但随着新技术可以用于表征这类粒子，这种资料将更加重要。

141. 由于气载热粒子尺寸很小，一般在几微米至几微米以下的范围内，因此很难进行隔离。已经开发出一种新的简单方法，利用光学显微镜手工操作和隔离尺寸在 1 微米至 1 微米以上的单个粒子以及在扫描电子显微镜下直接手工操作和隔离尺寸甚至更小的粒子（图 G-1）。一旦隔离出来，可以利用能够应用于显微尺度的各种技术对粒子进行研究，这些技术如扫描电子显微镜、 α 粒子探测、激光烧蚀电感耦合等离子体质谱仪和其他质谱测定技术以及 X 射线显微断层照相法等。

²³ 在 2009 年 4 月原子能机构主持的辐射肿瘤学进展国际会议上，原子能机构鼓励世界辐射肿瘤学设备的主要制造商生产更加坚固、成本较低的便携式辐射肿瘤学设备，以供在贫穷的乡村环境中使用。

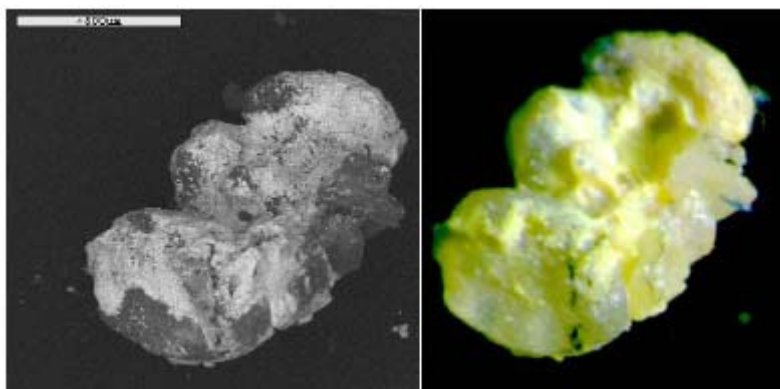


图 G-1. 一颗砂粒的扫描电子显微镜显微照片（左）和光学显微镜显微照片（右），示出源自科威特多哈军需品仓库火灾的带有贫化铀粒子的形状和敷层。
比例尺：500 微米（林德）。

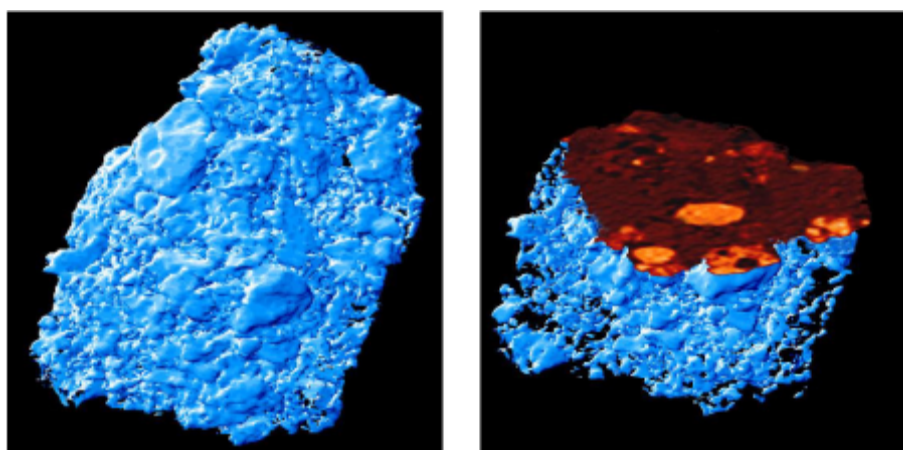


图 G-2. 切尔诺贝利核事故中爆炸后的大火期间释放的氧化燃料颗粒的显微 X 射线吸收断层照相。断层照相切片的三维视图示出颗粒的表面（左）和计算机化（虚拟）三维图像切片，它们显露出其非均质的内部结构（右）。颗粒宽度：约 300 微米（萨尔布等，2000 年）。

G.2. 联机访问世界海洋放射性数据

142. 含有 11 万个录入数据的海洋信息系统 (<http://maris.iaea.org>) 的主要目的是为访问海洋放射性数据提供便利。此外，海洋信息系统还是一个关于海洋环境中放射性核素水平和趋势的国际基准源项，与其进行对照能够评定最终的释放对海洋环境的任何进一步影响。海洋信息系统为沿海地区的决策者提供了用于进行决策的完善数据。

143. 海洋信息系统含有过去和现在世界海洋、深海盆地、海岸带和海水中以及颗粒物、沉积物和海洋生物群中最重要的天然和人工放射性核素的放射性数据。这些数据源自已发表的科学论文、报告以及成员国研究机构或科学计划范围内开发的数据库。

144. 在基准研究方面，利用海洋信息系统中的数据进行海洋环境中放射性核素的水平、存量和趋势评价；环境影响评定和来自海洋照射途径的剂量评定。海洋信息系统数据与海洋学数据相结合，可用于更好地表征洋流、水柱过程和沉积动力学，以及以放射性核素作为模拟物研究污染物在海洋环境中的最终去向。海洋信息系统数据还用于验证对于预测气候变化和海洋酸化等非常有益的地区和全球规模的环流和弥散模型。

G.3. 稳定同位素标记在海洋食物网研究方面的应用

145. 稳定的碳同位素组分广泛用于研究生态系统中有机碳的来源及其在食物网方面的应用。了解碳和营养物在环境和海洋有机体之间的迁移是提高对生物化学循环和生态系统功能认识的关键。在受控条件下酌量添加碳-13 标记化合物等示踪剂并通过各种化合物进行示踪，可提供有价值的信息。此法能够揭示哪些途径对于确定生态系统中重要有机物的作用非常重要。图 G-3 示出了德耳塔碳-13 ($\delta^{13}\text{C}$) 在环境中的分布。通过对某些有机物组的脂类生物标记物特征进行分析和观察这些物质中同位素标记的存在情况，现在有可能利用稳定同位素在分子一级解决具体物种的相互作用问题。这类数据与数学模拟相结合还可用于评价不同海洋有机物光合产物的生产和更新率。原子能机构正在帮助成员国在利用气相色谱-同位素比质谱测定法分析具体化合物的同位素比率的基础上示踪碳-13 标记和未标记的化合物通过珊瑚礁、浮游生物和细菌等海洋食物链的迁移情况。这种新开发的核技术的应用将为更好地了解海洋环境中食物网相互作用和碳循环做出贡献。

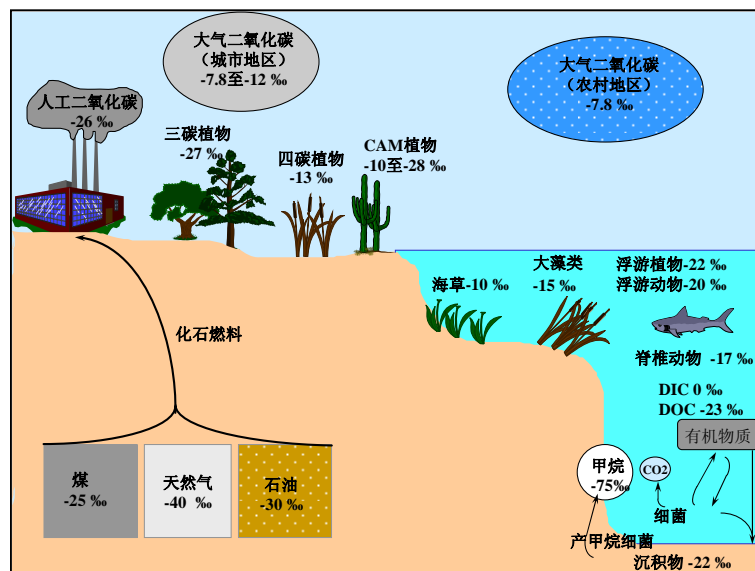


图 G-3. $\delta^{13}\text{C}$ 在环境中的分布图示 (根据图鲁萨《海洋》2004 年第 30 卷第 2 期第 239—259 页改编的图) (CAM: 景天科酸代谢、DIC: 溶解无机碳、DOC: 溶解有机碳)。

G.4. 利用放射性同位素测量海洋酸化对北极和地中海海洋生物多样性的影响

146. 模拟研究清楚地表明，极地地区特别容易受到不断增加的温度和海洋酸化作用联合气候变化效应的影响。为了更好地预测它们对海洋生物多样性的影响，原子能机构开发了便携式实验设施来研究海洋酸化作用。正在使用这种方法以钙-45 同位素来测量作为留鲸、海象和海鸟重要食物的北极海蝴蝶和鸟蛤中的钙化速率。在仿制所预测的今后北极水域酸化条件的暴露实验下，原子能机构支持成员国测定出海蝴蝶中的钙化速率明显降低，其因素类似于业已测量的造礁珊瑚的钙化速率。

147. 原子能机构正在帮助成员国开展有关地中海商业鱼类、墨鱼和章鱼的放射性示踪剂研究，以确定海洋酸化对它们早期生命阶段的影响。这将进一步有助于了解和预测海洋酸化在多大程度上将改变海洋资源以及这些改变的社会经济影响。

H. 水资源

148. 除了人口和经济增长外，气候差异和气候变化也是加大淡水资源压力的重要因素。地球上每三个人中几乎就有一个依靠以冰川和融雪供水的河流水。气候变暖后，河水流量的变化和脆弱性随之增加（融雪流量增加和降水模式变化所致），这将要求改变水利用和水管理实践。随着发展需要进行更多的可再生能源和不可再生能源生产，水用于能源也将成为水资源规划中的一个重要考虑因素。针对淡水资源需求的增加，管理部门的对策将可能包括更多地依靠业已紧张的地下水资源。

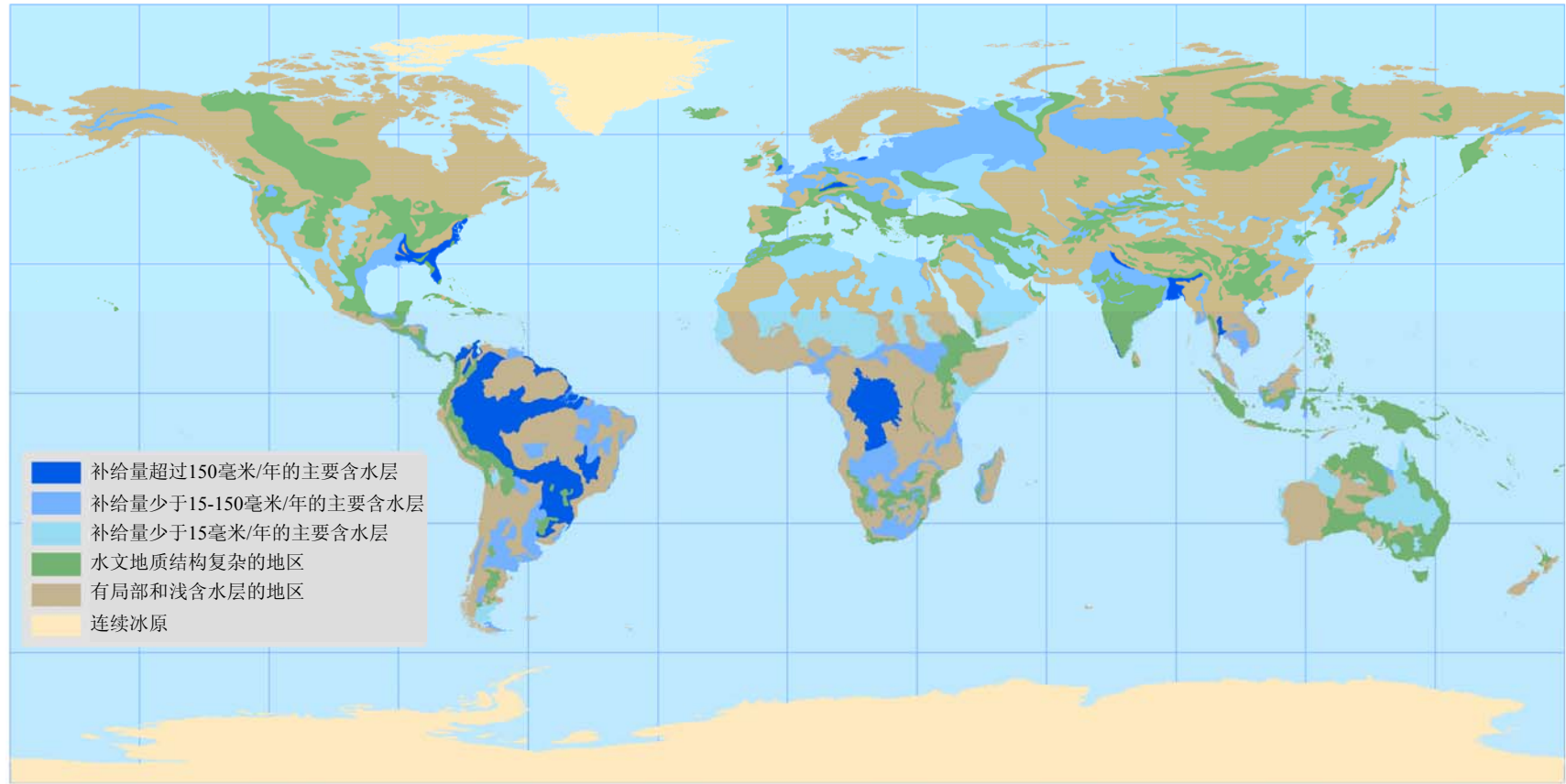
149. 但我们对地下水资源分布和可再生能力的认识还存在着严重空白。在改进地下水评定方面的一项引人注目的努力是世界水文地质测绘和评价计划 (<http://www.whymap.org/>)。这是原子能机构水资源计划、教科文组织国际水文计划、德国联邦地球科学和自然资源研究所、国际水文地质学家协会等于 1999 年启动的一项合作努力，目的是收集和核对全球范围的水文地质资料和地下水资料并将它们可视化。2008 年在奥斯陆第三十三届国际地质大会上介绍的地下水资源图（图 H-1）描述了三种主要类型的地下水发生情况：在有地区性含水层的主要流域（蓝色）；在水文地质结构复杂的地区（绿色）；在有局部和浅含水层的地区（褐色）。每种颜色的色度变化表示地下水的再生或补给速度。图 H-2 显示了亚洲南部地区的地下水资源图。

150. 同位素方法有助于容易地查明含雨古水（和无补给或补给量微不足道）的含水层和含现代水（和大量补给）的含水层。²⁴ 如果使用原地下水进行灌溉或用于家庭或工业供水，则描述为“开采”，因为在当前气候条件下，被抽取的地下水不会自然恢复。对

²⁴ 可从原子能机构最新“年度报告” (<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html>) 的相关部分获得更多资料。

此类含水层的管理应远慎于对有着现代补给的含水层的管理。含水层开采存在于全世界许多国家。

151. 对水资源包括地下水资源作出良好评定将有助于实质性地增加水供应。国家评定可提高各国通过改进战略行动计划更好地利用其地区共享资源的能力。原子能机构正在计划建立一种伙伴关系，以利用其技术优势和使其他机构如世界银行、开发计划署和世界气象组织的任务和活动相互补充，从而制订可在许多成员国推广的水资源评定示范科学方案。建立被称为“原子能机构—加强水供应”的伙伴关系的努力将制订水资源包括地表水和地下水资源评定综合方案，以及帮助制订适应气候变化的更佳战略。



- 补给量超过150毫米/年的主要含水层
- 补给量少于15-150毫米/年的主要含水层
- 补给量少于15毫米/年的主要含水层
- 水文地质结构复杂的地区
- 有局部和浅含水层的地区
- 连续冰原

图 H-1. 世界地下水资源分布状况，世界水文地质测绘和评价计划（比例为 1:50 000 000）。蓝色部分为主要流域的地下水系统；绿色部分表示水文地质结构复杂的地下水系统；褐色部分表示有局部和浅含水层系统的地区。这三种主要颜色的不同色度反映地下水的再生（补给）速度。

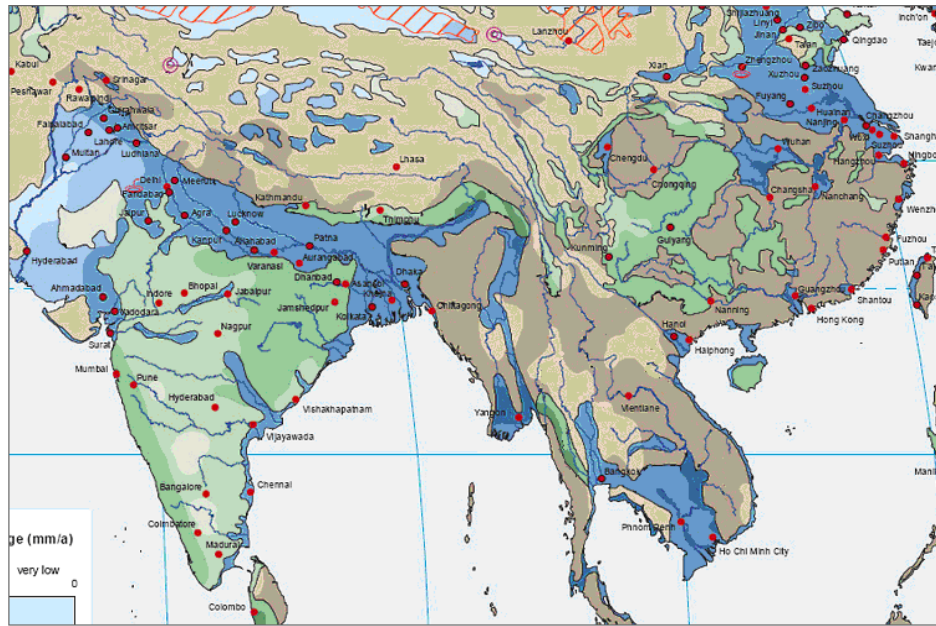


图 H-2. 比例为 1:25 000 000 地下水资源图的局部（亚洲南部地区）。蓝色部分为主要流域的地下水系统；绿色部分表示水文地质结构复杂的地下水系统；褐色部分表示有局部和浅含水层系统的地区。这三种主要颜色的不同色度反映地下水的再生（补给）速度。

I. 放射性同位素的生产 and 供应

152. 全球对放射性同位素和辐射源的需求由于其在医学和工业中的使用而正在不断增加。2008 年 5 月在大韩民国首尔举行的第六届国际同位素会议突出强调了对进一步开发和国际合作的高度需求。正在建立世界同位素理事会，以便为全体利益相关者提供适当论坛，促进放射性同位素的可持续和安全生产与应用。

153. 使用回旋加速器生产放射性同位素的能力已经提高。生产正电子发射断层照相法成像所用临床放射性示踪剂的地区生产中心也在增多。为响应氟化脱氧葡萄糖需求的不断增加，正在开发台式回旋加速器（~7.5 兆电子伏）以及基于微流体的先进放射性示踪剂合成模块，预计它们将为世界各地的大医院所采用。此外，由于一些正电子发射断层照相法示踪剂具有更高的癌症成像特异性，因此它们同样也在病灶积累的氟化脱氧葡萄糖相比，越来越受到青睐。

154. 正电子发射断层照相法和正电子发射断层照相法—计算机断层照相法中心数量的增多导致使用基于发生器的正电子发射断层照相法示踪剂进行高级成像的情况增加。例如，用锆-68 制备的镓-68 被用于癌症的诊断成像，用镱-82 制备的铷-82 被用于心肌灌注成像。

155. 由于基于分子核医学原理的寻靶技术的进步，放射性核素治疗正在增多。因此，

预计治疗用放射性核素需求将显著增加。为制备高纯度钷-90 而开发的电化学发生器方法学（得到了原子能机构协调研究项目的推动）预计将在一种适于模块远程安全操作工艺的基础上，提高钷-90 的供应量。预计镱-77 将变得同碘-131 同样重要，一些国家业已开始或正在计划启动这种放射性同位素的大中规模生产。

I.1. 钷-99 的供应保证

156. 在过去的一年中，作为诊断成像中广泛使用的钷-99m 来源的放射性同位素钷-99 的供应发生中断，导致世界各地核医学中心的患者服务受到耽误。钷-99 需求（每周约 45 万吉贝可）通常由比利时、加拿大、法国、荷兰和南非的五座反应堆的辐照来满足，加工则由四个工业设施进行。全部钷-99 的 95%以上使用高浓铀靶生产。2009 年 1 月，美国国家科学院根据国会授予的任务，发布了关于使用低浓铀靶的可行性研究报告。²⁵

157. 生产钷-99 的反应堆数量有限并且它们已全部老化，已到了进行维护性关闭的时候，不止一个生产场址已因此而发生问题。2008 年 8 月，由于意外技术问题，一座反应堆（在荷兰佩滕）在进行维护性关闭后被推迟了重启时间。这恰逢欧洲其他两座反应堆进行预定维护性关闭和一处处理设施发生放射性事件，致使欧洲和其他地区的钷-99 发生严重短缺。由于 2008 年 5 月加拿大 MAPLE 型反应堆项目终止，并且鉴于至少在 2015 年之前可能将不会有任何新反应堆投入生产，钷-99 和其他基于反应堆的同位素的供应安全更加令人担忧。

158. 将最早大规模供应钷-99 的新来源可能是澳大利亚核科学和技术组织。在美国，密苏里大学研究堆已在初步规划和探索成为美国国内生产商所需资源方面取得显著进展，其目标是满足 30%至 50%的需求，尽管它在获得批准后还需三至四年时间才能建设完成。还有两个设施正在安装之中，一个在埃及（由阿根廷伊维普公司供应），一个在巴基斯坦（由德国同位素技术公司供应），它们都将生产钷-99，但尚未宣布明确的生产计划。

159. 迫切需要扩大地理分布合理的反应堆辐照能力和增加生产钷-99 的处理设施的数量。政府需要给予支持，同位素制造商之间需要建立更紧密的合作，包括需要建立营部门和私营部门伙伴关系，以确保适当的反应堆从事低浓铀靶辐照，供进行钷-99 生产。

I.2. 电子束处理

160. 各种工业使用强电流电子束加速器来加强材料（图 I-1）的物理和化学特性及减少令人讨厌的污染物。已进行商业利用的强电流电子束装置共有 1400 多个，给无数产品带来了数十亿欧元的增加值。除了这些强电流电子束装置外，还有近 1000 台低电流加速器用于研究目的。

²⁵ http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12569

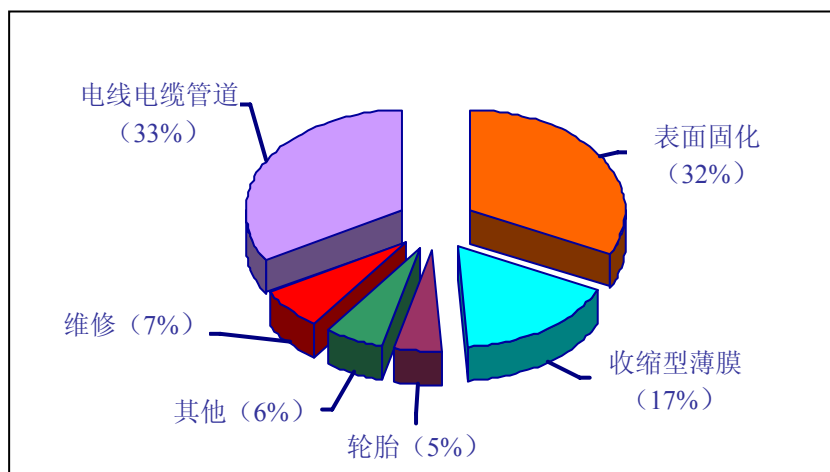


图 I-1. 工业电子束加速器最终用户市场的典型模式。它们大多用于电缆、热缩材料和表面处理（80%以上），而医疗设备和粮食产品应用预计今后将增加。

161. 随着高能（5 兆电子伏至 10 兆电子伏）和大功率（最高约 700 千瓦）电子束加速器的出现，将电子束功率转换为 X 辐射现已具有商业可行性，可用于替代 γ 射线的工业利用。图 I-2 显示的容器能够容纳成箱的牛肉末等粮食产品和成箱的一次性医疗用品，它们正将被送至两米高的水冷钨 X 射线靶前。



图 I-2. 正在输送装有材料（如一次性医疗用品、粮食产品）的容器，用 5 兆电子伏至 7.5 兆电子伏的电子束作 X 射线处理。

162. 虽然使用低能（低于 500 千电子伏）电子束加速器进行墨水、涂层和粘合剂固化以消除挥发性有机化合物的做法日益增多，仍有必要使用移动式电子束设施进行工业废水处理、种子灭虫和空气去味等应用。低能电子束加速器的一个新兴应用领域是表面去污，如正电子发射断层照相所用瓶子和无菌填充物包装的去污。

I.3. 辐射处理用于纳米科学

163. 可使用辐射技术制造和表征纳米级新材料。辐射技术对纳米技术必不可少，因为电子束可聚焦成几毫微米和进行高速扫描。在荷兰进行了多电子束无蒙片平版印刷术新技术的示范，这种技术使用最多 13 000 个平行电子束直接将电子线路图写入晶片，不再需要蒙片。它将电子束的超高分辨率和景深与高生产能力结合在一起，提供了具有成本效益的下一代芯片制造方法。

164. 低能离子束平版印刷术与电子束平版印刷术的工作方式相似，但具有散射最小和沿轨道能量损失几近一致的优点。最近开发出了一种新方法，它使用可变大小孔径来调节样品上的束斑形状。通过将大小不同的孔径与样品上的不同位置相结合，可在短时间内进行复杂结构的感光。加速能量高于 1 兆电子伏的重离子束可用于从聚合物制造离子径迹薄膜，反过来也可用作模板，用于将显微结构和纳米结构合成为电线。已使用这种方法制造出单个或阵列式纳米磁线、纳米导线和纳米超导线及纳米小管。同在电子工业中一样，电子束和离子束技术也被用作调查纳米级尺寸的物理现象的工具，以支持物理学、纳米光子学、纳米生物技术和纳米生物医学的研究。