

核 电 的

创新的“快”堆核电厂可能是一种战略需要

复

苏

Evgeny Adamov

核电用了50年时间就达到了水电经过好几百年在全球能源生产中取得的地位。在这些年中，围绕主流反应堆技术不时有新的反应堆概念提出。在核电蓬勃发展的20世纪60和70年代，其中某些“创新”概念甚至导致了一些示范或试验项目的建立。

然而尽管有各种各样的新想法，进入新世纪的核电仍在一些较旧的主流技术的轨道中运行。这些技术大部分是在核工程初期军用同位素生产反应堆和核潜艇反应堆推进发展期间开发的。

除非我们了解创新技术在很久以前没能取得任何明显进展的理由，否则就不可能回答目前或在可预见的将来是否需要这些技术的问题。

也许很少有人记得，核动力并不是由于能源缺乏产生的。它的出现是因为第二次世界大战以及与之有关的增强武力的迫切需要。战争结束后，由于双方的武器设计者们（例如开始在奥布宁斯克建设世界第一座核电厂的俄国的库尔恰托夫和在艾森豪威尔总统1953年“原子用于和平”倡议引领下的美国政治家们）打算通过促进和平核应用来平衡军事力量，核计划得到加强。

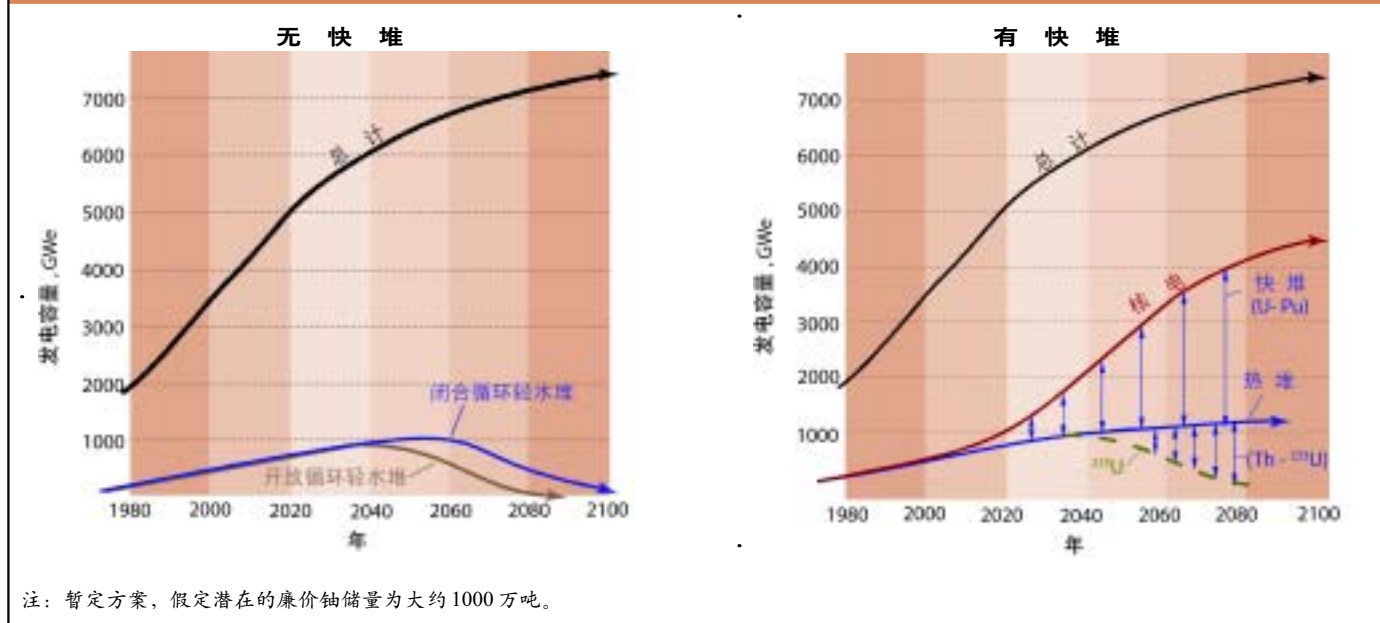
不断变化的背景

当今的能源需求如同在核电发展起始阶段一样基本仍然由化石燃料满足。在最近几十年中，热心的核电支持者屡屡提到迫在眉睫的化石燃料短缺，尽管这种悲观的前景还不会在今后100年内威胁人类。这意味着可能的能源短缺不是促进积极寻找替代能源的惟一的或主要的因素。

其他的因素起着更大的作用。其一是不断变化的环境背景。在上个世纪末，敏锐的环境意识要求更密切地关注“绿色”能源解决方案。对核电的评估表明，它在环境保护方面具有为大多数其他能源技术所不能及的优点。然而，《京都议定书》支持者的政治积极性最近已经下降到如此低的程度，以致于尽管有更加令人信服的温室效应危险的证据，但是仍然有可能找到把温室气体排放问题从优先考虑中排除的理由。鉴于当前核能在综合能源平衡中仅占6%的份额，预计所谓的替代能源（风能、太阳能、潮汐能、生物质能、地热能及其他能源）的综合贡献很可能挤掉核能而不会对全球能源供应造成显著损失，是合乎情理的。

另一个因素是不断演变的政治框架。在核电发展初

图 1：预计核电容量的增长



期，假定工业将在世界两极（以美国为首的北大西洋公约组织和由苏联领导的华沙条约）都有核武器的背景下发展。正如以后事实表明的那样，与武器有关的技术不会局限于公开声明属于核俱乐部的五国的圈子里。与影响能源技术的发展相比，不扩散问题反而具有更加尖锐的意义。在节能运动和最近找到包括近海矿床在内的油气田——这使化石燃料的价格降低到破纪录的水平——的背景下尤其如此。

现在仍然有必要分析，为什么核电不仅远未达到 20 世纪 70 年代设想的发电水平，而且很可能在未来的 10 – 15 年内还会不断损失它在能源市场中的份额。在俄罗斯及其他国家已经做了这种分析。采用这样一种方法，对核电的需求不能单独从市场角度正常考虑，并且核电本身不应该被当作常规的工业活动范围（如前十年中一直建议的那样）。

核能的“复苏”

重要的问题是，对创新核技术的需要必须在不断变化的背景下加以评定。研究可能引起核电需求的条件和可能使核技术“复苏”的环境是重要的。对某些国家来说，例如法国和日本，由于缺乏油气资源，本身就有充分的动机在能源结构中保持核电的地位。其他国家可能

把寻求能源部门的多样化或能源自给自足作为高度优先的考虑。

安全的核电同时也能，例如，生产氢，其生产方式也是有益的。这种利用将使未来的发电中减少化石燃料的消耗，从而节省资源在运输和其他能源消耗量大的工业中更加有利的应用。甚至今天，对某些强势经济这也可能是一个有吸引力的方案。

研究可能引起核电需求的
条件和可能使核技术
“复苏”的环境是重要的。

然而看起来似乎是自相矛盾的，核电的复苏可能是由成本的上涨和对武器扩散的担忧以及如何管理风险推动的。在核武器被完全禁止和消除以前，扩散将仍然是一个要求严密控制的危险，以防止核材料和核技术落入坏人手中。当前，单单为了核武器而保存和发展核技术、有关专门知识和工业设施的工作，在公共支出方面显然比如果这个诀窍为了能源生产而传播和分享是一个更大的社会和经济负担。

例如在俄罗斯，为消除核武器计划后果的活动估计需要数百亿美元，而这笔钱在国家预算中尚无着落。同

时，到 2050 年合理实施动态核电发展策略——已经得到俄罗斯政府的认可——是一个避免从其他的社会需求部门转用这些与武器有关的基金的办法。

在我看来，今后的办法是基于有助于防止核武器扩散的技术发展先进核电厂。大规模的核电建设应该依靠创新的反应堆设计和燃料工艺，它们可以对核不扩散体制提供技术支持，同时又有助于满足世界的电力需要。

“快”堆核电厂

从不扩散及其他方面来看，快中子反应堆设计提供了最有希望的方案（见方框“快中子反应堆”）。快堆只烧铀-238，因而可以从目前用于核电运行的整套燃料循环技术中除去铀富集和武器级钚分离的环节。这些快堆与初期堆型不同，可以不用能生产武器级钚的燃料再生区。

这个方案能使核电的发展从技术上进一步脱离可用于武器的材料的生产。它将更有利于不扩散体制的其他要素，包括政治和法律的安排，例如视察。这些安排会变得更加便利，例如利用卫星系统监视燃料循环厂房的配置。

利用这样的方法，目前承担核扩散费用负担的国家可以开展各种不同的工作。这些国家可以规定与没有核武器的国家分享创新核能技术利益的最佳条件，同时感受发展他们自己能源生产系统的迫切需要。

所以，在提供最大限度获得核技术机会的同时，核国家例如可以首先通过自主安排亚洲和非洲贫困地区的能源生产解决不扩散问题。核能的利用在这些地区早期开发衰落之后将基本上是非商业性的，并且基于国际援助。因而这个倡议可能成为稳定当前和今后可能出现的国际冲突的一个决定性因素。同时，这一倡议将非常适合目前实行的“设计—建造—运行”方法，并且随着能源市场的发展有可能进入国营公司或跨国公司的主要业务中。

在我看来，今后的办法是
基于有助于防止核武器扩散的
技术发展先进核电厂。

核能满足需要吗？

如果核电被认为是全球经济和安全的一种战略需要，那么对它的潜力必须有明确的认识。基于当今的反应堆并利用开式燃料循环（不经后处理），核电到本世纪末将耗尽合理价格铀的可采储量。核电厂的总容量不会上升到比约 350 GWe 的现时水平高很多。作为一些国家的惯例，通过后处理和再循环中重新利用燃料，总功率输出可以有 15% – 20% 的增加。如果除了天然铀以外钍也被用作燃料，核电的可能贡献至多可以翻一番。

快中子反应堆

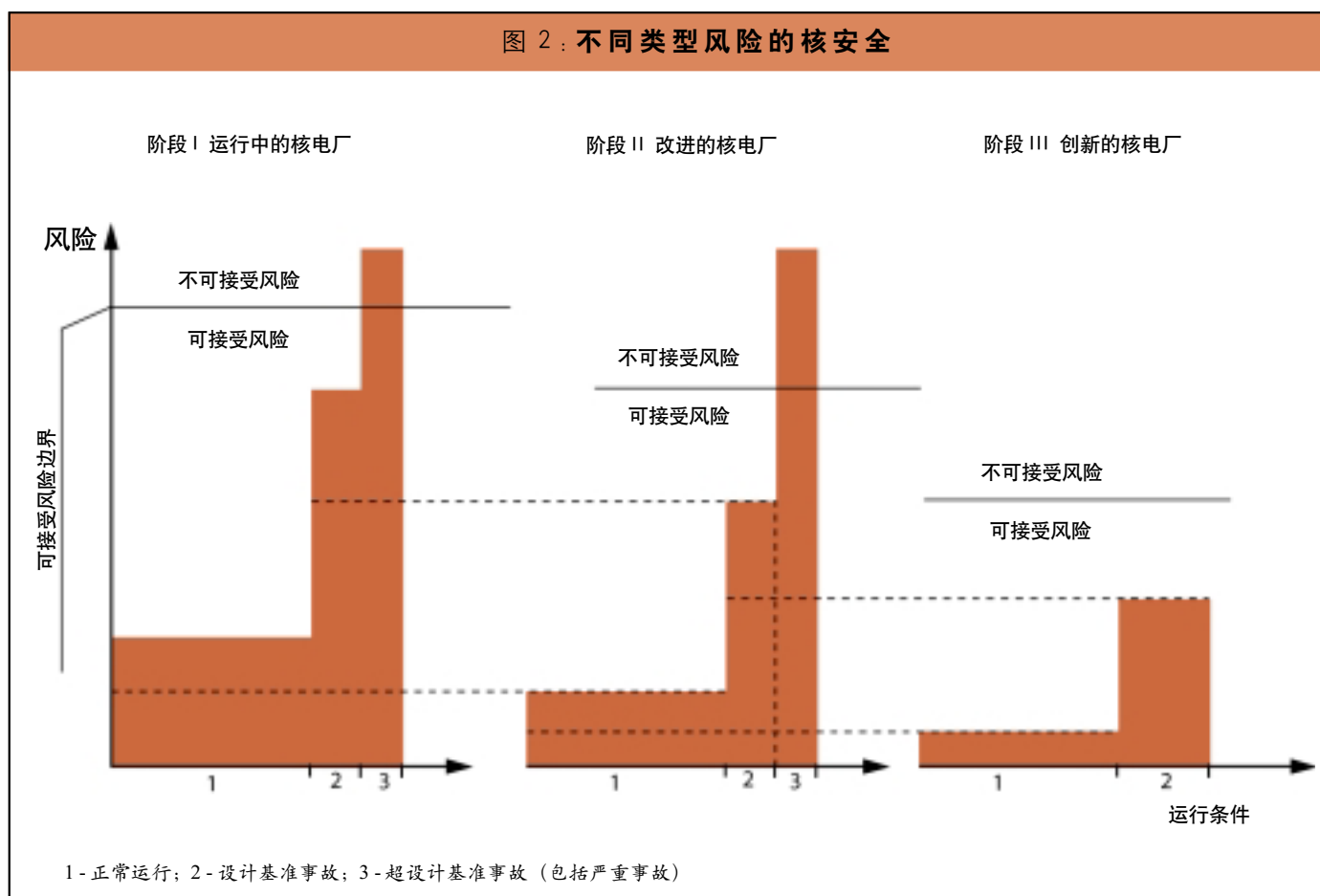
快堆不是新堆型，但是其发展正在不断开辟新的领域。最初快堆是按既消耗又生产燃料设计和构筑的。这样的“增殖”反应堆燃烧铀燃料，并且增殖经过后处理可以在反应堆内重新用作燃料的钚。法国、俄罗斯、日本及其他国家开发了快中子增殖反应堆，尽管只有少数今天在生产商品电力。例如俄罗斯的 BN-600 从 1981 年以来一直在供应电力。

当今进行工业生产的核电厂主要是可能包括或不包括

燃料后处理的“热”反应堆。在基本术语中，“快”和“热”指的是堆芯内部发生的事。在所有类型的反应堆中，产生热量的裂变，即链式反应，是通过中子与燃料不断的碰撞来维持的。在热堆中，中子通过石墨或水之类的慢化剂把速度降低到物理学家称作“低能”的水平。在快堆中，链式反应产生的中子不经减速而一直保持“高能”状态。

欲了解关于快堆和各国相关情况的更多技术信息，请访问 IAEA 的核能网页 www.iaea.org。

图 2：不同类型风险的核安全



如果快中子反应堆得到利用，并且采用乏核燃料经后处理和再循环供能源使用的闭式燃料循环，设想的情景就会发生明显改变。届时的核能就可以提供世界能源大会（WEC）所预见的今后几十年期间需要增加的所有电力。在以后的某个时候，核能甚至将能够摆脱燃料资源的限制。在这种情况下《京都议定书》的要求将自然得到满足，而电力工业的温室气体排放可以保持在任何预定水平上。

如果大规模的核电建设被认为是一种切实可行的方案，那么就不能逃避应该用快堆作为这一产业基础的结论。

最近几年中，20 世纪 90 年代的悲观主义已经被中国、印度、伊朗和俄罗斯等若干大国的能源策略中优先恢复核电的某些倾向所代替。这一点在美国的国家能源

政策中也有十分明显的征兆。然而，无论核电复苏的动机是什么，不扩散仍将在国际政治中保持不变的优先地位。如果大规模的核电建设被认为是一种切实可行的方案，那么就不能逃避应该用快堆作为这一产业基础的结论。沿着这条发展道路，成功地解决受控热核聚变的问题只能是增加核能满足不断增长的全球能源需求的能力。

安全与废物

除能源和扩散担心外，核电厂安全和放射性废物处置问题也必须加以考虑。

在废物方面，多年来积累的核工程专业知识已帮助人们找到非常有效的放射性废物处置方法。其中包括各种与环境隔离的密封方法和在谨慎选择的地质构造中埋藏的方法。然而证明所有贮存设施——更不用说乏燃料处置库——在有地质意义的时间跨度内的安全性总是一个问题。这表明必须发展一种不增加废物问题而是最大

限度地减少废物的燃料循环。

基于快堆和闭式燃料循环的核电系统将使实现所谓的核材料“辐射当量管理”成为可能。这种管理涉及少数锕系元素和裂变产物的一个所谓的“嬗变”过程。这一过程正在作为减少和管理长寿命放射性废物的替代策略加以开发。例如利用与快堆配合的闭式燃料循环，核废物的总活度将约等于在至多150—200年内开采出的矿石的活度。这必然影响公众的废物管理认知。

关于电厂安全，我不得不承认现有核电厂通过采取概率安全评定及其他措施在安全改进方面取得了印象深刻的成就。然而，如果我们寻求完全创新的核技术，就可以开发出依靠设计、物理和材料根本不会发生严重事故的反应堆。这种设施的优势可以对公众的选择产生决定性影响。

这种反应堆最近已经被称作“自然安全设施”。它们的安全依靠自然规律，而不是附加的专设安全屏障和额外的人员。例如，快堆就可以这样加以设计，它们的物理特性将排除发生如1986年切尔诺贝利或1979年三里岛那种严重事故的可能性。（其差别在图2中加以说明。）

全球合作与支持

这样，根据各种理由，快堆可以开辟确保核电竞争力的新的机会。为了满足能源和不扩散目标的战略利益，核电发展中的这一新的篇章将需要国家和国际的支持。

许多研究已经分析和确定了创新反应堆技术的基本安全要求、经济要求和其他有关要求。它们从根本上不同于20世纪60和70年代的那些要求。这些新的要求已被转变为《俄罗斯核电发展战略》中21世纪前半叶的主要原则，并且被俄罗斯总统引用在2000年9月的纽约联合国千禧年峰会上宣布的国际合作倡议中。

IAEA的2000年大会又提出了所谓的国际创新核反应堆和燃料循环项目（INPRO）计划，许多国家正在通过这项计划开展合作（见本期通报的“推动创新”）。IAEA总干事巴拉迪最近的陈述基本上与普京总统的全

球倡议一致。

与此同时，反映在美国国家能源政策中的对核能的政治态度的改变，驱使某些国家通过第四代国际论坛（GIF）联合开发先进核反应堆。在做出最后决定之前已经选择了包括快堆在内的6种反应堆概念供更详细的分析。

为了满足能源和
不扩散目标的战略利益，
核电发展中的这一新的篇章
将需要国家和国际的支持。

顺便说一下，俄罗斯在过去十年中进行了这种工作，选出了一种铅冷快堆，其工程设计正在详细开发中。这个项目已经进行到很后期阶段，已经选定了乌拉尔山脉中的一处场址用于可能建造示范装置。在同一期间，完成了支持核材料的辐射当量管理方法的研究与开发工作。研究的结果可以用作与其他反应堆概念和实现燃料循环目标方法进行比较的基础。

对INPRO和GIF进展的评估已经表明，只要最后的目标协调一致并且被确定为基于闭式燃料循环和防扩散技术开发经济上有竞争力的大规模核电，两者就可以协调起来。考虑到对核电新方法的兴趣日益增加，参加INPRO和GIF的活动，通过国际合作来实现共同的目标也许是有利的。国际热核实验反应堆（ITER）聚变项目的成功实施就是在解决最富挑战性的工程任务方面高效合作的一个极好范例，尽管它走在对这种设施的实际需要的前面。

创新核电厂生产的廉价电力是未来经济发展的一个有吸引力的基础。它可能有助于消除不公平的地区生活标准差异，并且最终有助于解决造成政治紧张和国际冲突的根本原因。

Evgeny Adamov 1998—2001年任俄罗斯联邦原子能部部长，从2002年以来一直是俄罗斯政府主席的顾问。全部参考文献和进一步的技术细节可以向作者索取。电子信箱：avde@nikiet.ru。
