

核电

不断变化的景象

穆罕默德·巴拉迪



在

过去的两年中，IAEA 经常成为人们瞩目的焦点，这主要是因为我们扮演了世界“核监督者”的角色，正如我们有时在晚间新闻中被提及的那样。这种强化聚焦使各国政府和大众重视起我们在核查活动中仅以铁证为凭的不偏不倚的方法。这也为 IAEA 赢得了客观和独立的声誉。我们将同样的方法用在了我们的“原子用于和平”使命的另一方面——核技术用于经济和社会的发展。

原子能也可用来服务于更多的人类需求。在我的职业生涯中，让我感到欣慰的经历之一是亲眼目睹越来越多的核技术及同位素技术被用于解决一些令人生畏的挑战，特别是在发展中国家，如在干旱气候下种植更高产的作物，研究儿童营养不良，管理饮用水供给，提高工业生产率，根除传播疾病的害虫，以及解决许多与饥饿、贫穷和缺乏保健相关的其他问题。

最显著、也是经常最有争议的和平核应用是核发电，本文主要从欧洲的视角集中探讨这一问题。

动态画面

核电目前的状况仍是非常复杂的，但也存在着不久将发生变革的迹象。

截至去年底，全世界共有 440 台核电机组在运行，它们为全世界提供约 16% 的电力。近 20 年来，上述比例一直保持相对稳定，这意味着核电的增长速度与世界总的电力消耗增长速度基本持平。

核发电主要集中在发达国家。世界的核反应堆中半数以上集中在北美和西欧，只有不到 10% 在发展中国家，而这些国家是本世纪能源需求增长很可能最快的地区。核电在许多发达国家中占相当大比例，例如在俄罗斯为 16%，德国为 30%，日本为 35%。相比之下，如巴西、印度和中国等较大的发展中国家，核电比例分别只有 4%、3.7% 和 1.4%。

新的核电建设

核电扩大和增长的前景集中在亚洲。在全球建造中的 31 台核电机组中，18 台位于印度、日本、韩国和中

国——包括台湾。最近 29 座将要并网发电的反应堆中，有 20 座也集中在远东和南亚地区。

鉴于近期西方的核电几乎没怎么增长，这很可能是比大多数欧洲人的猜测更积极的核电建设。核电建设在西欧和北美一直是一个被冻结的领域，最后一座核电厂是 1999 年在法国建成的西沃 -2。人们也许会问：既然很少甚至根本没有新的核电建设项目，那么核电是怎样与其他能源一起保持增长来维持其发电份额的呢？

改善安全性能和提高可利用率

既然很少甚至根本没有新的核电建设项目，
核电是怎样与其他能源一起保持增长
来维持其发电份额的呢？

非常有趣的是，问题的答案与改善安全性能的努力有着直接联系。1986 年的切尔诺贝利事故促成了世界核电运营者协会 (WANO) 的创建，并使 IAEA 实行的核电厂安全办法发生了彻底变革。通过这两个国际组织，建立了开展同行评审、比较安全实践和交换重要运行信息的网络，以提高安全实绩。采用了更系统化的风险分析，以确保变革是在能够带来最大安全收益的领域进行的。

尽管国际努力主要集中在改进安全性上，但也在不断地提高核电厂的可利用率和生产率。1990 年，核电厂平均容量因子为 71%，而 2002 年这一数字上升到 84%，提高的生产率相当于新增超过 34 台百万千瓦级核电机组，而且相对成本都是最小的。

结果，现有运行良好的核电厂已经成为日益宝贵的资产。尽管核电厂前端负荷成本构成非常高，但运营费用已经变得相对低廉和稳定。尽管安全性和经济性方面的这些改善尚未得到很好的宣传——尚未对公众对核电的看法产生重大影响，但它们都没有逃过投资者的注意。它们已经成为决定现有核电厂许可证展期的一个有力因素，例如在美国，过去 5 年中就有 19 座核电厂获得 20 年的许可证展期。

即将发生的变革？

一些分析家认为，由于诸多原因，欧洲新的核电建设问题正在获得新的基础。

碳排放

第一个原因来自欧洲在限制温室气体排放和降低气候变化风险的全球努力中所采取的明确立场。

核电事实上不排放温室气体。整个核电链，从铀矿开采到废物处置，包括核反应堆和核设施的建造，每千瓦小时仅排放 2 – 6 克碳。这个数字几乎与风能和太阳能相同，比燃煤、石油、甚至天然气低两个数量级。如果全世界 440 座核电机组都被关闭，换成相同比例的非核能源，其结果将是每年增加 6 亿吨碳排放。这个数字将是我们估计《京都议定书》到 2010 年减排总量的约两倍，假设俄罗斯批准该议定书的话。

供应安全

另一个原因是目前欧洲对能源供应安全的重视。欧洲能源供应安全绿皮书估计，到 2030 年传统企业对进口能源的依赖将从目前的约 50% 增加到约 70%。在上个世纪 70 年代石油危机期间，类似的担心迫使我们投资核电，当时对核电的投资为保障今天欧洲能源的供应安全做出了巨大的贡献。欧洲大量的铀资源不是这种安全的必要条件。相反，这种安全基于多种多样的稳定铀生产商和长期燃料供应所需的小的存储空间。

有关的公众健康风险

安全和公众健康又如何呢？对于核电来讲，严重的健康影响仅来自于重大事故，这样的重大事故仅发生过一例——切尔诺贝利事故，是由严重设计缺陷加上严重操纵员错误造成的。切尔诺贝利是石墨慢化轻水反应堆（RBMK），目前在俄罗斯仍有 15 座这种类型的反应堆在运行，在立陶宛的两座，根据加入欧盟的协议规定，计划分别于 2005 年和 2009 年关闭。由于 1986 年以来对这种类型反应堆进行了改进，这些反应堆已不会造成切尔诺贝利那样的威胁，同时也没有新的 RBMK 在建。

更何况，切尔诺贝利不是欧洲或其他地方新核电厂

的原型堆。对于评价未来核电厂的性能来说，一种好得多的堆型将是欧洲压水堆（EPR），芬兰电力公司（TVO）不久前选择了这种堆型作为新奥尔基洛托-3 电厂的反应堆。当工程分析家调查这些新核电机组的设计给公众健康带来的风险或为此调查过去 10 年世界核电厂运行的安全记录时，他们发现核相关风险在能源工业中属于最低之列。

抉择

然而，能源决策显然不可能在“千篇一律”的基础上做出。每个国家和地区在选择能源战略时所面临的情况千差万别。例如，欧洲就不像亚洲一些地区那样，面临着人口增长和经济发展需求的双重压力。占世界人口 2/5 的中国和印度就属于这样的国家，它们因反贫穷和反饥饿的需要，面临巨大的能源需求。

然而，能源决策显然不可能在“千篇一律”的基础上做出。每个国家和地区在选择能源战略时所面临的情况千差万别。

能源选择也受公众认知——包括对风险的认知——的强烈影响。尽管有了我刚刚提到的工程分析，以及已采取的抵消严重核事故可能性的各种措施，但是这种风险将永远不会降低到零——切尔诺贝利的记忆在某些国家的公众认识中仍旧分量不轻。例如在我生活的至今尚没有核电厂的奥地利，我想绝大多数人都反对核电。而芬兰则相反，它拥有长时间的和积极的核电经验，该国大多数公众支持继续扩大核电。而在其他国家，如德国和瑞典，尽管它们有丰富的核电经验，没有大的安全忧虑，但反核情绪却导致它们决定逐步取消核电。

各国如何权衡核事故风险与空气污染、河流决堤、矿山事故或依赖国外燃料供给等其他因素，是非常复杂的，需要合理的辩论。在 IAEA，我们尽最大努力提供可能有助于各国做出能源供应决策的最客观的信息，以确保核技术风险和利益能得到清楚和正确地理解，并帮助那些选择核电的国家安全而可靠地运行它们的核设施。

未来可行性的关键问题

依我看来，在我们展望未来时，某些重大挑战与核电的未来可行性直接相关。

废物管理和处置

最大的挑战莫过于乏燃料和高放废物管理和处置制订明确的全球和国家战略。在欧洲，欧洲议会已于1月批准了一项法律决议草案，要求欧盟各成员国在2006年以前提交各自详细的长期废物管理和处置计划。芬兰在这方面一直走在各国的前面；芬兰政府和议会已批准了一项在奥尔基洛托核电厂附近的洞穴中建造一座最终核废物处置库的“原则性决定”，并得到地方政府的大力支持。瑞典也正在努力完成选址过程。IAEA一直在努力帮助成员国制订废物管理和处置战略，并促进在废物处置研究和示范项目上的国际合作。

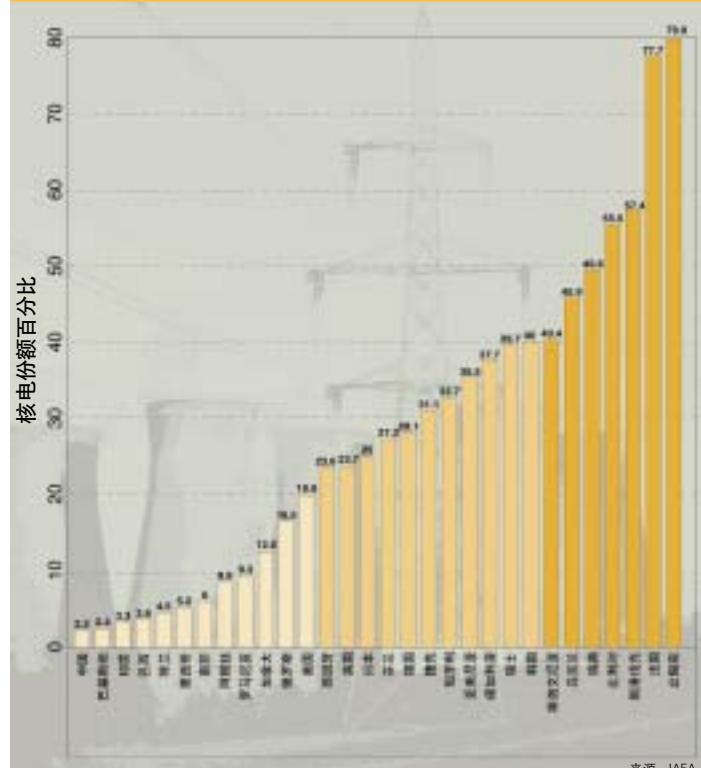
为了使废物问题形象化，分析家有时提到：全世界所有反应堆一年产生的乏燃料，即使不为再利用进行后处理，其大小也不过是相当于一个足球场大和高1.5米的结构而已。而这12 000吨的废物量与每年化石燃料直接向大气排放的250亿吨碳废物相比，核乏燃料的量似乎相对很小。而且，废物处置技术完全能够把核废物以玻璃或陶瓷的形式固化，然后把它们进一步装于耐腐蚀的容器内，并从地质上把它们进行隔离。目前正在开展利用加速器驱动系统减少废物量和放射性毒性的进一步研究。另外，针对贮存在最终废物处置库中的废物，正在研究确保能够对其进行回取的方法，以充分利用未来的技术进步。

但公众对此仍持怀疑态度，也许在第一个最终废物处置库投入运行和处置技术得到充分验证之前，核废物处置很可能仍将是有争论的。

安全性能

第二个重大挑战与安全性能有关。正如我前面已经提到的，在过去20年中建立的强大的国际核安全网络已经奏效，我可以非常自信地说，核安全已有了显著的改善。但我们决不能满足于已取得的一点成绩。我们仍存在许多不足：在某些情况下，现有的设计陈旧的设

2003年世界核电份额



来源：IAEA

施仍需进行升级改造或采取补偿措施，以确保达到可接受的安全水平。我们还正在集中精力寻找具有类似基本原因的问题，以防止核设施再发生类似事件：即确保在一个核电厂中汲取的教训有效地纳入到其他所有相关核设施的运行实践中。

我想强调的是，不论某个国家或地区做出什么样的能源选择，重要的是所有国家都提供支持，以确保在世界各地的核设施中执行高安全标准。核安全涉及共同的利益，应该继续是全球优先考虑的问题。

核保安

第三个重大挑战无疑是核保安。2001年9月发生在美国的恐怖袭击事件自然引发每个工业部门，包括核电部门，对保安水平的再评估。国家和国际核保安活动在范围和数量上都极度扩大；在过去的两年中，我们IAEA在各大洲开展工作，努力帮助各国更好地管理它们的核材料和放射源，保护它们的核设施，并加强边界管理。而国际社会在这方面也取得很大的进展；尽管还有很多工作需要做，但目前世界核设施已加强了保安

力量，增加了防护屏障，并采取了其他应对当前的安全风险和薄弱环节的措施。

核电厂的风险已成为公众注意的焦点。尽管核工业在处理保安问题上一直具有前瞻性，但这些努力不应使我们忽视其他工业或商业部门的薄弱环节，如果这些薄弱环节遭到恐怖袭击，同样会带来灾难性后果。

核不扩散

防止核武器扩散，是一个与核相关的单独挑战。我首先要说的是，目前我们还从未听说过置于IAEA保障下的核材料（无论来自核动力反应堆或其他来源）被转用于军事目的。

但正如最近发生的事件所证明的那样，不扩散体制正在经受越来越大的压力。这从出口管制制度工作失败中可以看到，最近发现的核材料和核设备黑市就是证明。这也从燃料循环技术的危险扩散中明显表现出来。按照目前的不扩散体制，非核武器国家拥有浓缩或后处理技术或拥有武器级核材料并不违法。如果一个具有高度发达的核燃料循环能力和高度工业化基础设施的国家不论什么原因决定抛弃其不扩散承诺，大多数专家认为，它可在数月内制造出核武器。

为解决这些薄弱环节，我最近已建议将核燃料循环中对扩散最敏感的部分——新燃料的生产、武器用材料的加工、乏燃料和放射性废物的处置——置于多国控制之下，或放到有限的几个地区中心。应采纳适当的牵制和平衡制度以保持商业竞争性，防止敏感技术扩散，并确保向合法的潜在用户供货。我最近还建议对出口管制体制进行审查，以加强出口管制，使这个体制全球化并具有约束力。我还要求所谓的“附加议定书”中规定的那些更宽泛的核查规则成为全球标准，以便IAEA能有效地探查未申报的核活动。

依我看，在成本、安全、保安及不扩散方面的优势可通过这种多国途径得以加强。

技术和政策创新

最后一个挑战是创新——鼓励开发新的反应堆和燃料循环技术。为了获得成功，这些创新的技术应解决与

核安全、扩散和废物产生有关的问题，并且发电价格必须有竞争力。从技术角度讲，这意味着我们将更多地依赖非能动安全设施、通过新的燃料配置增强核材料的管理，以及采取能够缩短建造工期和降低运行成本的设计特点。而且创新不单纯是技术上的：政策方针必须就位，以保证可靠的施工进度、许可证申请审查程序及影响成本和用户信心的其他因素。

鉴于不断变化的市场要求，我们将特别关注中小型反应堆，这些反应堆可以促成更多的补充投资，与发展中国家的电网容量更匹配，更容易适应广泛的工业环境和应用，如区域供暖、海水淡化或化学燃料制造。近20个IAEA成员国目前参与了创新反应堆和燃料循环设计的开发。IAEA一直在通过其国际创新核反应堆和燃料循环项目（INPRO）推动创新，并积极参与其他的国家和国际创新项目。

即将做出决定

最后，我要指出的是，目前欧洲核电的“停滞期”即将宣告结束。近期，欧洲将面临重要的能源抉择。随着越来越多的核电厂即将达到其最初的设计寿期，欧洲必须做出决定，如何替代这些退役的核电厂。

决策的制定在某种程度上取决于你强调的重点是什么，例如，勘探可利用的煤炭和天然气资源，或是提高可再生能源的性能并降低成本，还是更多地依赖进口。显然，当今惟一可与核电的低碳排放相媲美的基荷方案只有大型水电，而在欧洲能够扩大水电的地方略显有限。

最后我要说的是，不论你们选择退役现有反应堆、延长其寿期，还是建造下一代欧洲核电厂，IAEA都将随时准备向你们提供帮助，以确保安全的能源供应。

巴拉迪博士是IAEA总干事。本文基于2004年5月他在布鲁塞尔召开的欧洲议会有关欧洲能源选择大会上的发言。电子邮箱：Official.mail@iaea.org。

2004年6月，IAEA开始了有关核能未来的全球媒体宣传活动。关于更多信息，可查询IAEA网站：www.iaea.org。