



Brand X/Alamy

# 方兴未艾 的核能

商用核能投入使用已过五十载，近年有卷土重来之势，并可能在未来的全球电力资源中扮演更重要的角色。但核能的怀疑者们仍坚持反对意见，这些意见曾导致许多核能厂的缓建和停建。然而，出于对全球能源供给的成本、安全以及全球气候改变的忧虑，对核能的争论有必要作重新定位，提倡更多使用核能。

为此，澳大利亚、英国和美国等发达国家政府是否要修建新的核能厂已经不再是一个不能放到桌面上讨论的事情。对于像法国和日本等其它发达国家，以及中国和印度等经济快速发展的国家来说，核能依旧是其能源政策中至关重要的组成部分。例如，中国为了达到其核能占总发电量4%的目标，计划在2020年前在目前已运行和修建的11个核电厂的基础上再新建三十座。印度的目标是在2050年前核能占总发电量的25%。

目前全球三十一个正在运行的核反应堆有440座，总发电能力为3670亿瓦，约为全球电力总供应量的16%。位于维也纳的国际原子能总署(IAEA)，是联合国授权促进国际间核问题合作的机构，它估计未来十五年内全球将修建六十座新核电厂。然而，由于全球电力需求量的不断增长，即使增加了新核电厂，核能仍仅占全球总发电量的17%。

## 环境忧虑

目前政策制定者和电力公司面临的一个中心问题是如何满足全球快速增长的电力需求的同时，又不增加温室效应气体的排放。美国能源部的能源信息办公室负责跟踪能源趋势，它预期全球电力使用量在2000年到2020年间将增长75%，而到2050年使用量有可能翻三倍。目前发电所排放的气体约占总温室效应气体的三分之一。

联合国的人类发展目标(包括健康、教育和经济繁荣等方面的指标)与每人电力消耗密切相关，因此就人类本身利益而言，电力消耗量的增加是需要的。总体而言，发展中国家每人的电力

消费量不到发达国家的五分之一，随着这些国家的工业化，他们将倾向寻找最经济的能源供应来满足其电力需求。这主要就是指火电发电厂，但是它释放的温室气体，主要是二氧化碳，明显高于其它诸如天然气等碳源类火电发电厂。而核能和其它可再生性非碳能源如风能和太阳能等不会直接产生温室气体。

全球气候的变化和《联合国气候变化框架公约》(United Na-

tions Framework Convention on Climate Change)《京都议定书》(Kyoto Protocol) 2005年的生效，迫使环境组织及核能业重新定位核能利用。最近有几位很著名的环保人士公开支持核能源，包括“地球之友”(Friends of the Earth)的理事，即英国前主教 Hugh Montefiore 和绿色和平(Greenpeace)的创始人 Patrick Moore。

他们对核能的支持疏远了他们原有的组织，但是同时显示来自环境活动者对核能的阻碍有所减低。尽管这些环境活动家更愿意将核能作为其中一种选择，但仍认为核能不是最明智的选择。

自然资源保护理事会(Natural Resources Defense Council)和科学关注家联盟(Union of Concerned Scientists)等非政府环保组织目前讨论的是政府在能源政策制定过程中扮演的角色以及如何确保核电厂运行的安全性，而不再是是否应修建核电厂的问题。

## 观念改变

不同的国家兴建核电厂的潜在需求不同。例如，对于一些电力需求平缓的国家，其核能的角色不可能发生剧烈变化，如日本，30%的电力依赖于核能，但其人口有下降趋势；法国的人口平衡，能源的80%来自核能。而尽管美国已有103座核能电站，供应20%的电力，但人口在不断增长，因而核能的需求也不断增加。发展中国家的核电利用的潜在需求十分巨大，特别由于人口集中在城市，为大型发电厂提供了一个相当集中的市场。



核反应堆核心：图中显示的是一个核反应堆核心部分的俯视图，显示核燃料和控制棒悬挂在水池中。



全速前进：中国第一个试验性快堆核反应站正在 Tuoli 加紧建设中

因此在回答“核电是否经济划算”这一问题时，“在某些国家是肯定的，而在其它国家却不一定。”IAEA 的计划与经济研究专家 Alan MacDonald 说，“在中国和印度，你需要任何你能够获得的能源。亚洲的污染问题严重，能源需求很大。有时选择核能似乎是由人们的偏爱所决定的。在奥地利和丹麦，人们诅咒核能，但是德国等其它国家，人们对核能的态度就不一样了。在美国，华尔街始终抱着高度怀疑的态度，密切关注核能的发展。”

McDonald 说，核能成本完全取决于你的选择和考虑哪些因素。但是，一般来说核能的前期投资非常大，而随后的运行费用则相对较低。因此，那些电力设施由政府拥有的国家在筹建新电厂时有一定的优势，他们比其它投资者拥有的电厂更容易获得资金，后者的资金来源取决于资本市场和投资的快速回报。

“直至《京都议定书》签署后，核能的经济价值才真正体现出来，”McDonald 说，“在欧洲，一个新的火力发电厂要获得温室效应气体排放许可所需的成本，可能比煤炭本身的成本还要高很多。尽管美国不受《京都议定书》约束，但是美国投资者依然有可能要遵守不成文的规定。如果这个条约有所改变，使核能变成国际市场机制的一部分，能授予清洁能源信用和可以买

卖温室气体排放指标，这对核能发展将是一个巨大的推动力。”

但是越来越多地使用核能并不是没有潜在的安全隐患。McDonald 指出：“如果全球的核能大幅度增加，核武器扩散的风险就会增加，任何事情总是有其两面性。”IAEA 的主任 Mohamed Elbaradei 说，事实上，最近披露的未申报铀浓缩活动和废弃核料的再加工，以及伴随着国际间核技术非法贸易的揭露，都显示必须提高对核能的控制。为表彰其在阻止核武器扩散，防止北朝鲜和伊朗获得核武器方面的努力，Elbaradei 和 IAEA 在 2005 年 10 月 7 日被授予 2005 年度诺贝尔和平奖。

为了应对核危害的扩散，国际原子核机构议定了一份《附加条款》(Additional Protocol)，所有签约国都可将这一条款加入处理有关核原料追溯和核实问题的《IAEA 安全防

护协议》中，《附加条款》强调安全保护、保护核燃料和核设施以及支持核出口控制体系。到目前为止，已有 100 多个国家将这一附加条款加入他们的协议。IAEA 还提议将来的核技术及设计应有利于防止核扩散，国际上所有核浓缩和回收再加工应该在某一合理框架内在几个国家内进行，并保证供应给所有成员国。

### 核电业的发展历史

核能是否应在将来的发电行业扮演更显著的角色？考虑这一问题时不能与其历史、政府部门的角色以及核燃料回收等割裂开来。从铀矿开采的潜在危害和将铀加工成燃料，反应堆核裂变控制和最后核料及相关废料的弃置和再处理等过程一直是人们关注的焦点。

民用核电力工业正式起源于 1954《原子能法》(Atomic Energy Act) 颁布后政府与电力工业的合作。在这之前，所有美国核能都仅用于军事。美国艾生豪威尔 (Dwight Eisenhower) 总统在 1953 年 12 月在联合国“和平核能” (Atoms for Peace) 的演讲推动了美国政府在金融和技术上对核能商业运行的支持。同时政府也建立了 1957 年的《普莱斯-安德森法》(Price-Anderson Act)，要求核电厂必须购买私营保险公司的最高保险，但又同时限定了保险公司承担的法律义务，后者是公用事业公司在投资兴建核电厂前所提出的条款。

美国海军首次制造了推进核潜艇的高压水式发应堆，这项技术现已广泛使用。这项设计成了



恐怖袭击目标：有些批评者对核能持保守态度，担心核反应堆及核燃料成为恐怖分子的攻击目标。

全球核电厂分布图



美国宾夕法尼亚州Shippingport核电厂的基础,这是第一座核电厂,于1957年投入使用。在前苏联,原先设计的核反应堆主要生产武器用的钚,后来经过改进后与新型核反应堆一起供应热能和电力。第一台这样的商用核反应站早在1954年已在Obninsk市投入运行。

在冷战早期,支持核能贯穿在美国许多的外交政策。美国资助建立了IAEA,将其作为核技术和核料的全球管理机构,IAEA支持核反应器及核医学和农业用同位素等方面的研究,并帮助欧洲发展了核工业。因为欧洲煤产量在不断减少,其它电力资源也非常有限。

尽管与其它能源相比较,美国早期的核电厂运行并不经济实惠,但是上世纪六十年代中期到七十年代早期是美国核能工业的繁荣时期。核能工业倡导者坚持认为,在政府有选择性的适当资助下,通过技术提升能够使核能跨越经济效益这道障碍,最终将会被公用事业行业广泛接受。美国原子能委员会(Atomic Energy Commission)现已与核管理委员会(Nuclear Regulatory Commission, NRC)及能源部(Department of

Energy)合并,据他们估计美国将在100年内耗尽其石油和煤炭,而核能是发电业中矿物燃料最好的替代品。该委员会当时乐观地估计,到2000年全国将有三分之二的电力来自核电厂。

美国的核能在1973年达到顶峰,那时同时有50个新建核电厂的计划,但在1979年的随后几年中,取消的项目开始超过新的立项。1979年3月,一系列的操作失误和错误传达,Three Mile岛2号高压水反应堆的部分核心设施彻底瘫痪。这一事故并没有导致核心外部及制冷系统的大损坏。根据官方估计,事故导致的核泄漏非常小,远低于辐射暴露致健康损伤的水平。然而,大规模的调查和政府资助的十年清理导致附近居民恐慌撤离。这次事故的恶劣影响,再加上高昂的建设成本、管理机制的滞后和反对者的呼声,导致美国核工业的停滞。尽管当时在建的许多核电厂都最终都相续建成运行,但是从此再也没有新立项。

1986年4月切尔诺贝尔四单元的灾难性事故,几乎为全球核工业敲响了丧钟。事故原因在于培训不足的员工违规操作本身就有设计瑕疵的反应堆,导致了这场灾难,事故现场充满了爆炸

后的蒸汽、火灾及核燃料。由于前苏联广泛采用的核反应设计中没有包含大多数西方国家的反应堆中含有的密封装置系统,因而事故中大量放射性物质、尘埃及气体泄漏到了大气中。

现在整个切尔诺贝尔核站被埋在了一个被称为石棺材(Sarcophagus)的混凝土内,从长期来看,这种结构并不稳定,气密性或水密性也不理想(已计划新建一个石棺,但是实施这一计划的资金迟迟没有到位)。事故对于被迫撤离的35万名当地居民来说是一场悲惨的经历。由于核站附近的高污染,周围方圆三十平方公里至今仍被关闭。事故当初大约有五十人死亡。IAEA 2005年9月的题为《切尔诺贝尔遗产:健康、环境和社会经济影响和对白俄罗斯、俄罗斯及乌克兰政府的建议》(Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socioeconomic Impacts and Recommendations to the Government of Belarus, the Russian Federation, and Ukraine)一文估计,这一事故暴露引起或将导致的死亡人数约为4000人。该报告观察到“精神健康是事故导致的最严重的公共卫生问题”,这主要是指居民因事故所导致的贫困、

吸毒、酗酒、悲观、自我感觉健康差、自认为寿命短、缺乏进取心和依赖救济金。

尽管事故导致公众反对核电厂的呼声很高，世界并没有因此停建新核电厂。但是有些欧洲国家，如比利时、德国和瑞典开始重新规划其核能计划，并制定了逐步停运现有核电站的政策。一些国家正处在寻找替代能源，例如，瑞典的目标是在2010年前实现无核化，它已在2005年6月关闭了第二个核反应站（第一个已于1999年关闭）。但是，根据全球核协会（World Nuclear Association）的资料，剩下的十座核电站供电量占瑞典全部发电量的一半。

### 新老观念

2003年麻省理工大学（MIT）发表了一篇很有影响的报告《核能未来：MIT综合研究》（*The Future of Nuclear Power: An Interdisciplinary MIT Study*），该文详细列举了所有核能的关注点，并提出了一个建议，作者希望美国为此能重新启动核电厂的发展，以便减少温室气体的排放。该研究确定了核能成功的四个关键问题，即成本、安全、废料和扩散。该文也为核能商业运行的可行性提供了一些政策方面的建议，其中包括一系列步骤来降低成本和给予最先行动者和那些修建及运



核残留：在国际切尔诺贝利评估项目（International Chernobyl Assessment Project）工作的一位研究员正从当地的农民手中购买粮食作物样品进行核素分析。然而，最近IAEA的一份报告认为，此次事故最显著的长期健康影响是心理的创伤。

行的私有投资者一定税收优惠。

“我们的建议基本上还无法完全实施，”该研究联合主席 Ernest Moniz 说，他是 MIT 能源和环境研究室的主任和克林顿时期的能源副部长。“从积极方面看，新的规范正在制定中，核能工业打算建造新型反应站，并与环境部门展开更多的公开讨论，能源政策法（Energy Policy Act）已被正式通过”，他说，“从负面情况看，废弃核料的管理还很糟糕，Yucca Mountain 事件为核能的使用蒙上了阴影。而且核扩散在伊朗仍是个问题。”



立足过去 展望未来：全球继续兴建新核电厂。尽管核电厂在美国停止兴建，但是，对核能的重新认识和对能源的需求可能使这一能源回到原有的发展轨道上。

内华达州 Yucca Mountain 核废料填埋场的命运尚不清楚。面对来自州和民间团体的不断抵制，联邦政府放慢了修建商业核能废料和高放射性垃圾堆埋场的步伐。Yucca Mountain 项目之所以遭到反对，是因为内华达州长期以来一直用于核武器试验，人们对此地区堆放其他地方运来的核废料感到愤怒，这些核废料将必须保持 1 万年，人们担心当地的地质环境不一定能稳定地确保辐射安全。然而，如果要兴建大量的新核电厂，未来的几十年将需要好几个这样的核废料堆放场。

Moniz 说，MIT 的报告支持对核工业进行扎实的研究，制定核发展计划，并给予核工业税收优惠。这是因为过去有太多的政策不确定性，给核设施投资者带来太高的金融风险。另外，目前碳类燃料的内在成本并没有真正体现，如果将健康和环境污染及温室气体排放等因素都考虑进去，核能将有竞争力。因此，政府对非碳类能源的资助将会得到公正对待。

Moniz 援引的 2005 年能源政策法将为发展包括核能在内的能源技术提供借贷担保，这样可避免、减少和杜绝温室气体的排放。它也将为设计容量为 6000 兆瓦新核电厂（约为六个新电厂的供电量）的每度电提供 1.8 美分的税收优惠。对业主更为重要的是，该法案还将为投资者提供因法律纠纷等不可控制的因素导致许可和运行推迟等方面的投资提供保护。

该法案将会为核能研究和提供数十亿美元的资助，支持研究发展更经济有效和更安全的第四代核反应堆。这些反应堆由于运用无源技术将更加安全，它们在紧急情况下将自动关闭，避免操作失误的风险（这些反应堆的正常操作和关闭仍为人工控制）。这些反应堆的效率更高，与第三代反应堆比较成本效益更显著。另一对环境有利的是，该法案将资助既可发电又可产生氢的一体化反应堆，后者点燃了为汽车提供新型的无碳燃料的

希望，众所周知，目前汽车是温室气体最大的排放源。

最后，法案资助了布什政府的一个核能项目：2010年核能目标（Nuclear Power 2010）。这是2002年公布的计划，将由政府和企业共同出资确定三个新核电站的位置、发展第三代反应堆以及建立一个经NRC批准的核电站修建和运行的单一许可证审批制度，从而为投资者清除了许多拖延和不确定因素。

电力公司、反应器供应商和建筑公司三方组成的财团随后为响应这一计划，共同起草了一份建议书。但是至今有关新建核电站一事还没有任何动作。这一财团由Dominion Resources、Exelon and Energy及Tennessee Valley Authority三方领导。这些财团代表全国67个核电运行商，他们的建议书都集中在新的核电站应在已有核站的地方兴建，并与十家电力公司共同所修建的Yankee Rowe电厂类似，这是一个上世纪五十年代最早投入商业运行的核电站之一。

这一财团包括许多不同反应器供应商和设计者，其中有些已通过NRC认证。最后决定是否修建新核电站主要取决于以下因素十年后的情况，包括电力市场、永久废料存放状况以及参与者是否有能力获得相应融资的同时又使他们的信用等级不受影响等。



困境：Yucca Mountain 位于美国内华达州的摩哈维沙漠（Mojave Desert）中，国会指定该地区将作为全国废弃核料和高放射活性垃圾的存放处。然而该项目遇到了许多技术问题和公众抗议。

#### 利益关联方

“企业的利益很现实，” Russ Bell说，他是公用事业贸易协会核能研究所（Nuclear Energy Institute）的新核电站资深发展项目经理，“公用

事业公司参与财团，投资进行初步设计和厂址选择，主要是从经济角度考虑，特别是从长远看，核能是最好的选择。虽然美国不受《京都议定书》约束，但是环境污染问题备受关注，环境法规也越来越严”。

Bell说，核电业从能源政策法（Energy Policy Act）中获得他们所需要的，而政府在沉寂了这么长时间后仅仅是启动新项目。他承认在美国新建核电站所需时间很长。试想任何一个财团如果能符合2010年核能目标制订的条例，获得许可修建和运行一个核电站，还要再等4~5年完成建筑工程和发电。与此同时，电力企业将继续提高现有核电站的运行状况，并申请延期继续运行许可。

NRC最初发给运行商的许可证期限为40年，发出的第一张许可证将在2006年到期，2010年底前大约有10%的许可证到期，超过40%的许可证将在2015年前到期。严格地说，是否更新许可证完全由业主自愿决定，他们必须自行评估是否符合NRC的要求，并决定更新运行许可是否比关闭和寻求其他能源更经济有效。NRC现在已经批准三十五家核电站再运行二十



伊朗继续修建核电站：（上图）显示伊朗与俄罗斯协议在布什尔修建的核电站正在兴建中；（右图）记者在工地参观时观察布什尔核电站模型

Top to bottom: U.S. DOE; Kavesh Kazemi/Panos Pictures



核能万岁：法国人欣然接纳核能，核能的电力供应占全国电力的80%。

年。全国四分之三的核电厂已经收到、已申请或将要申请延期。

核电厂延期运行这一问题使核能与温室效应气体的问题愈加尖锐。例如，美国东北地区九位州长签订了一份协议，限制这些州所有电厂的温室气体排放。这一地区有两个核电厂，一个在佛蒙特，另一个在新泽西，两者都将期满而需要申请延期。如果两座核电厂都关闭，势必导致更依赖碳类燃料。根据2005年9月14日《纽约时报》报道，这将使佛蒙特州温室气体排放增加到目前的三倍，而新泽西州的也将翻一番。

“我们根本不是反对核能，”David Lochbaum说，他是科学家关注联盟的核安全工程师，“但是我们有其它更好的选择。另外，我们现在将核废料储存在那些不该储存的地方，现在这些核废料还没有健康风险，但是将来可能会有。”

Lochbaum同时也担心NRC的监督作用。“十年来NRC的预算已被削减，”他指出，“现在人员配备不足的监管会难以支持一个核工业复兴。而且有些核电厂现在运行时还常出问题。”

Thomas Cochran是自然资源保护理事会(Natural Resources Defense Council)核能项目的总监和MIT研究项目的顾问委员会成员，他也同

意这些担忧。“能源政策法案是核企业成功游说的结果，”他说，“他们很可能会建一些新核电厂，然而问题是将来你会回到你现在的状况吗？”Cochran并不认为政府资助或是经济因素将对核

乐观而紧迫的问题，但是如何付诸实施应该循序渐进。

—W. Conard Holton

译自 EHP 113:A742-A749 (2005)



核能的缩影：核能使当政者左右为难。一家人正在台湾垦丁的海滩上漫步，而他们的身后就是3号核电站。不久前，该电厂的核废料都通过船运到南隅岛附近一个有争议储存场所。