

# 国际原子能机构通报

国际原子能机构季刊

## 目 录

### 明天的能源

世界能源理事会呼吁采取全球行动

*Gerald Doucet*

2

### 扩大动力基础

建立比较评估能源的能力

*Bruce Hamilton, Guenter Conzelmann 和 Duy Thanh Bui*

8

### 跟踪进展的工具

可持续能源发展的指标

*Arshad Khan, Hans-Holger Rogner 和 Garegin Aslanian*

14

### 评估差异

不同电力生产链的温室气体排放

*Joseph V. Spadaro, Lucille Langlois 和 Bruce Hamilton*

19

### 重新考虑各种解决方案

京都的灵活机制与核电

*Hans-Holger Rogner*

25

### 气候变化的驱动因素

核能与最新 IPCC 排放情景

*Vladimir Kagramanian, Serguei Kononov 和 Hans-Holger Rogner*

31

### 不断发展的目标

核电的经济竞争力

*Hans-Holger Rogner 和 Lucille Langlois*

36

### 我们需要核电

对世界能源远景的看法

*Richard Rhodes 和 Denis Beller*

43

### 需要创新

核反应堆和燃料循环的未来发展

*Debu Majumdar, Juergen Kupitz, Hans-Holger Rogner, Thomas Shea, Friedrich Niehaus 和 Kosaku Fukuda*

51

### IAEA 通报专栏

国际简明新闻/数据文档/职位空缺/书刊/会议

60

# 明天的能源

## 世界能源理事会呼吁采取全球行动

GERALD DOUCET

自世界能源理事会(WEC)发表其1993年报告——《明天世界的能源——现实、实际选择和进程》以来,在全球能源领域,发生了许多新情况。

2000年4月,WEC发表了一项关于重新审查世界能源状况的声明,对其《明天的能源》(ETW)报告进行重新审查。WEC的2000年声明审慎地回顾了早些时候的能源情景,并提出一套新的目标和政策行动。其目的是吸取过去8年中在分析和制定一套更明确的政策行动方面的实际经验。WEC发表此声明,目的是帮助解决任何地方所发生的能源贫乏问题;增强所交付能源的质量和可靠性;以及最大限度地减少能源发展对环境和健康的负面影响。

WEC的2000年声明确立了能源目标,并明确了政策行动,如果现在采取这些行动,人们将有理由十分乐观地面对上述任务。本文根据这项声明的摘要,重点介绍过去8年中所取得的重大进展。

过去8年中,驱动经济增长和能源消费的一些因素发生了变化。

- 世界人口增长缓慢,但是城市化进程,尤其是在发展中国家,已经加速。目前联合国对2020年人口的中期预测为74亿人,而20世纪90年代初时的预测为81亿人。

- 过去8年中经济增长速度比ETW中设想的要慢。经济转轨中依旧存在的经济问题和亚洲及拉丁美洲部分地区随后发生的金融危机是1993年始料未及的,并且导致能源消费滑坡。

- 能源紧张的缓解速度没有像ETW中预计的那样迅速。

- 发展中国家与发达国家之间的金融合作自1993年以来一直没有得到改善。对于许多国家来说,问题的关键仍然是进行法律、金融和市场改革,这将为新的能源项目吸引必要的国内外资金。

- 最根本的转变之一是伴随着地区一体化和能源贸易的强劲发展趋势,对能源

市场解除管制和重组的程度。

- 另一个关键问题与国际环境日程有关。它不但主要以1992年开始的《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)以及随后若干轮的缔约国大会(COP)会议为指导,而且还关系到将于2001年召开的第九届联合国可持续发展大会。局部和地区性污染,以及温室气体的排放,已引起政界广泛的关注,而且能源发展对环境和对人类的健康与生活质量的贡献正受到人们的极大关注。

1993年,世界上有近18亿人没有用上商业能源。尽管过去8年中已做出努力,使大约3亿人用上电,或向他们提供了现代化的生物质能及其他商业能源,但估计仍有16亿人用不上电。在目前至2020年间将要出生的14亿人中,又将有4—5亿

---

Doucet先生是世界能源理事会秘书长。该理事会是一个全球性组织,总部设在伦敦,其活动遍及100多个国家。

人和他们一样用不上电。这些人大多生活在发展中国家的农村和边远落后地区。经济增长和基荷能源基础结构的滴入式效应不一定能解决其能源缺乏问题。

### 三个能源目标

WEC 把经济增长与国家及国际体制改革一并加以考虑,后者对包括世界上最贫穷的 20 亿人在内的每个人都能用上能源是必不可少的。由于世界上只有部分个人或地区受益于能源发展,而另一部分人却被遗忘,由此产生的政治和社会不稳定性会对世界和平构成重大威胁,继而还会使能源供应中断,威胁到能源的可用性。可获得性除了对能源的可用性产生影响外,还与能源的可接受性密切相关。实现能源的可获得性和可用性的投资伙伴关系,也能够解决社会和环境问题。

■ **可获得性**是提供可靠且支付得起的有偿现代能源服务。它在不断增加对市场信号依赖的情况下,取决于专门以满足穷人需要为目标的政策。确保越来越多的人能够按照其需要支付商业能源的最佳方法是,促进经济增长和追求更加公正的收入分配。这需要不断增加对市场的依赖,并同时处理好市场与特殊政策“不符”的

情况。

反映所有费用的能源税率,包括排放或废物管理等外部费用,对于确保充分的投资及鼓励提高能源效率和使用对环境最有利的技术是非常必要的,但是这种税率对于许多人来说却是支付不起的。与此同时,补贴到社会支付得起的价格的税率又吸引不了充分的投资,因而从长远来看其作用与需要商业能源基础结构的人们的利益相背离。在某些情况下,或许需要在一段时间内对能源技术和交付使用给予补贴,而不造成价格扭曲或至少使其保持在最低限度。

■ **可用性**涉及所交付能源的质量和可靠性。能源供应(尤其是电力供应)的连续性,在 21 世纪非常重要。尽管在某些情况下,只要实际情况被消费者了解并得到谅解,实施短期间断供应是可行的,但意外的电力中断会给社会带来不可忽视的高额费用。世界对信息技术的日益依赖,使可靠性变得比 8 年前更加重要。能源的可用性要求有符合具体国情的多样化能源组合以及利用潜在新能源的手段。WEC 的大多数成员委员会一致认为,在今后 50 年中需要各种能源资源,任何情况下都不能断然排除任何能源。

■ **可接受性**涉及环境目

标和公众的态度。局部污染是危害数十亿人的一个原因,尤其是在发展中国家。全球气候变化已成为人们关注的一个重要问题。考虑以下两个事实:发展中国家既担心日益上升的家庭消费排放水平,又担心对气候变化做出响应的有关措施对其经济造成潜在影响。前者造成局部(城市)和地区污染(例如酸雨对农作物和森林的影响)。

能源领域是新的和易于获得的技术已使排放减少并给未来的改善带来光明前景的一个领域。当然,对环境有利的技术必须在世界所有地区开发、传播、维护和推广。因此,有必要发展适当的地方能力,以确保当地人能够使用和维护这些技术。能源资源不论现在还是将来都必须以保护和保持当地和全球环境的方式生产和使用。

实现这三个目标,即能源的可获得性、可用性和可接受性,对于世界范围的政治稳定性、21 世纪的能源工作战略以及实现世界未来的可持续发展是非常重要的。

### 十项政策行动

能源是良性发展日程的一个重要部分,包括宏观经济政策和非能源领域政策。需要公正合理的财政、金融和社会政策。低通货膨胀、平

## WWW.WORLDENERGY.ORG

世界能源理事会是主要的全球多能源组织,其成员包括约 100 个国家的成员委员会。WEC 经常与国际伙伴一道就全球、地区和地方能源及能源相关问题进行分析和提出报告。WEC 采用 3 年工作周期制,每个周期结束时召开一次世界能源大会,与会者包括其成员、能源工业领导者、政府官员、国际组织、学术界、媒体、以及其他感兴趣的各方。下届大会拟定于 2001 年在阿根廷布宜诺斯艾利斯举行。

有关 WEC 的所有计划和活动的更多信息——包括 WEC 关于全球能源状况的声明及相关出版物和报告——可以通过该组织的因特网址 [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org) 获得。WEC 秘书处总部设在伦敦(1-4 Warwick Street, 5th Floor, Regency House, W1R 6LE, UK)。

国家与地区的能源领域放开所带来的好处与风险的综合概述。现正在对其进行更新,以涵盖 100 多个国家,其所有信息可通过电子方式在 WEC 全球能源信息系统中获得。有关东欧能源领域立法的专门报告也可以获得。在 2001 年将于布宜诺斯艾利斯召开的第 18 届世界能源大会上,将讨论有关拉丁美洲和加勒比地区转轨中的能源市场的专门研究报告,以及世界范围内有关能源领域放开评价的最新情况。

衡预算、包括健康和退休抚恤金在内的社会转让政策、教育、以及其他计划,是创建经济增长所需的健康经济与社会结构的关键。在国内市场太小的情况下,需要地区政策,以便为国内外的直接投资和扩大贸易提供广泛而具吸引力的前景。

WEC 已认识到为总体发展和消除贫困创建这种框架条件的至关重要性。为了更加明确地介绍 WEC 所能胜任的工作领域,我们决定重点介绍 WEC 在能源领域方面的十项优先行动。这些行动也可能更多,也可能更少,但是我们认为下面十项行动涵盖了目前至 2020 年间能源的可持续发展方面最

重要的问题。

**1. 从市场改革和适当监管中获益** 作为一般规则,政府必须从直接管理能源市场中撤出,应将其作用局限于确立完善的规则,并由公正的监管者加以实施。关键字眼是放开、贸易、私有化以及更广泛的消费选择。市场改革应考虑到气态和液态能源与电力之间不断密切的联系。改革的日程必须明确,并在合理的时间框架内执行,以便降低交易费用,尤其是因为市场改革可能带来越来越多的不确定性。由不受短期政治干预的公正机构制定并实施适当而平衡的监管条例非常重要。

WEC 出版了有关 33 个

**2. 保持开放式的能源选择** 能源系统适应新的价格现实的过程不是十分缓慢就是代价太大。必须给发展新的能源形式留有余地,新的能源应能弥补现在的一些能源供应类型的局限性,或应能以新的方式使用技术来减少由目前能源生产或使用产生的有害负面影响。能源的多样化、能源系统的地区一体化以及能源服务贸易增强都是相关的战略。

尽管特别强调天然气和有效的更加清洁的化石燃料系统的作用,但直到 2020 年全球对化石燃料和大型水力的依赖依旧很强,这是一个预料之中的结论。不过,完全依赖这些能源来满足日益增

长的电力需求,尤其是使世界上每个人都充分地用上电,那么这种状况是不可持续的。

尽管 WEC 的一些成员对核电的未来提出质疑,但是大多数都确信需要使核电的作用保持稳定,以便将来有可能加以推广。后者认为,要大力提倡发展具有固有安全性且支付得起的核技术。

考虑到能源系统的特点,应因地制宜在那些有重大潜力的地区实施旨在发展和资助使用水电、新的可再生能源以及复合能源系统的政策。最后,所有能源资源的开发必须推行市场准则。

**3. 减少重要能源项目投资的政治风险** 过去货币的任意贬值惨痛教训、财政体制的变化及利润调拨壁垒等造成一种使资本投资成本增加的政治风险,尤其是在发展中国家。尽管可在最大限度上获得双边非商业风险保险,但这种保险对于大多数能源相关投资来说是不够的。

这些风险使得在贫穷国家的来自国外、有时甚至国内投资比在富裕国家的投资更加昂贵。尽管市场改革在创建更加友好的投资环境中将起到积极的作用,但对付非商业风险的现有体系仅适

应制造业,并且规模太小,以致不能承受与重大能源投资有关的风险。所有国家政府和金融界应仔细审查既涵盖发展中国家新的商业能源项目政治风险,又可减少局部温室气体排放的全球共保体系模式。这种体系可由发展中国家和发达国家共同提供资金,由世界银行与其他国际开发借贷机构实施。

WEC 已完成一项关于全球能源领域资金来源的研究,它将有助于 WEC 与世界银行和地区开发银行一起从事能源投资全球共保体系的设计和准则制定工作。WEC 还将与世界经济合作与发展组织一起,就制定工业化国家对能源的可获得性和可接受性做出的新承诺的准则共同努力。

**4. 使能源价格涵盖各种成本并确保支付** 任何种类的能源都不是一种社会的、无偿的公共利益。它的价格必须反映所有可变成本、维护成本和扩大成本,而且必须建立一套可靠的制度,使能源消费者支付能源费用。

最终用户价格是驱动能源消费的一个关键参数。如果这种价格不能反映长期的边际成本(可变成本、维护成本和资本扩大成本),包括各

种可能情况下明确规定的能源保障或环境保护等外部成本,那么它们将扭曲个人行为,对国内生产总值(GDP)的标准度量产生不利影响,并且可能损害整个经济。取消对运输和电力等领域的能源补贴和交叉补贴,同时建立一种协调的能源征税体系,应是一项优先考虑的事项。切实可行的商业能源支付体系和反映成本的价格都非常重要。

WEC 已完成有关亚太地区电力贸易机制的专门地区研究,并正在中欧、东欧、拉丁美洲和非洲举办有关定价与支付体系的研讨会或地区论坛。有关发展中国家能源定价的一项大型研究报告将于 2000 年底发布。

**5. 提高能源效率** 能源紧张程度直接与价格信号有关,而能源效率更多地取决于成本效益最好的技术的推广。在能源设备与服务方面引入最低的法定标准至关重要。实现计量供应和建立能源支付体系对于实现能源消费与 GDP 增长分离这一目标是非常重要的。

直接或间接地使用价格杠杆(例如取消补贴,将外部成本包括在内)的能源效率政策能够最有效地减缓能源消费趋势。不过,即使在不改

变总体价格环境的情况下，也应推行能源效率政策，以便纠正市场失误。能源效率标准也有助于 GDP 增长，因为它可以增强能源的边际生产力或以相同能源量为增加经济与环境利益提供基础。再次要重申的是，法定标准和适当的能源支付体系是实现能源效率目标的核心。

**6. 促进与环境目标相连的融资伙伴关系** 减少温室气体 (GHG) 排放的国内行动，尤其是工业化国家的积极开展，值得关注。实际上，在缓解气候变化方面，一直鼓励工业化国家首先采取国内行动。不过，如果发展中国家对新的股本有着巨大需要，有潜力促进与发展中国家清洁而安全的能源项目相关的资本流动的国际机制是非常宝贵的补充方案，应是政府的一个高度优先考虑项目。减少能源相关的温室气体排放的最大的低成本潜力在发展中国家。

应促进对特定的能源可获得性和可接受性计划进行联合开发。旨在促进发展中国家与发达国家之间国际合作的全球机制正在讨论中，需要以切实可行的方式毫不拖延地建立。需要制定明确而简单的规则认证与这类项目有关的排放减少情况用

的，以及作为价格信号和成本上限实行明确的鼓励制度。这种伙伴关系的理想目标是：支持市场改革以及发展新的清洁能源基础结构或推广可降低温室气体排放的个别项目。

WEC 的温室气体排放减少试验计划已获得了世界各地主要能源项目的信息，这些信息可通过电子方式获得。这些项目将致力于达到目前至 2005 年之间能源的可获得性和可接受性目标。该数据库的方法和准则，如果 WEC 许可供公众使用，那么在吸引资金和获得监管批准方面可为投资者、银行家、公共电力公司和能源公司提供服务。随着对数据库信任度的增加，可将该计划扩大到农业和运输等能源相关领域。一旦现有计划的结果得到独立的主管机构的认可，可以考虑将该计划延期到 2005 以后。

**7. 确保为穷人提供可支付得起的能源** 以公正的收入分配为目标的经济和社会政策是帮助穷人的最有效方式。过去的经验表明，这类政策有助于整个国家经济的增长。不过，这种政策需要通过适当的部门计划来配套。

在能源领域，为使穷人支付得起能源，政府应当承

担吸收为穷人服务所需的能源基础结构的部分或所有滞留成本的责任；设计低成本下反映成本的基荷电力价格信号，以便利用有限容量计提供基本服务；支持在其周期成本相当于或低于电网扩展成本的农村地区发展分散的可再生能源系统；以及通过对管理者和其他人员进行技术和商业培训来建立当地能源企业的能力，以便进行业务各方面的运作，包括当地维护。

**8. 为研究、发展和利用 (RD&D) 提供资金** 致力于“共同利益”或让人人享有好处的 RD&D，要求政府提供充足的资金。这种支出如果在有竞争的条件下进行，效果将更好。在国际一级，应促进政府之间开展重复工作最少，竞争最大化的合作。在国家一级，包括学术界部门、工业界和公众在内的公正的主管应监督预算的分配和开支。

应该得到充分资助的能源研究与发展计划的优先领域包括：能源效率、生产和最终使用；处于发展阶段的所有可再生能源；地下水库/蓄水层中的或海洋储备某一深度中的碳螯合作用；更清洁的化石燃料系统；核动力，在这一点，费用应集中于以下

方面:渐进堆型(轻水堆),可能适合于发展中国家市场的、具有固有安全性的革新设计,以及贮存、废物处理和处置;降低运输和转换损失并贮存电力的超导性;以及一体化的非集中能源系统和旨在适应短时电源变化的缓冲系统。

WEC 已完成关于推动 21 世纪能源技术发展的重大研究,其结果将于 2001 年第 18 届世界能源大会上报道。

**9. 推动教育和公共宣传的发展** 教育和公共宣传需要进行公开的、透明的、独立的、活跃的和具有前瞻性的讨论。有必要在国家一级和国际一级(包括发达国家和发展中国家)为有效的能源体制提供资金。WEC 关于链接地区数据库建立全球能源信息系统的倡议,以及重新审查《明天世界的能源》的决定,是采取的正确步骤。WEC 三年一次的世界大会的学生计划,是为推动教育值得做出的另一项努力。

**10. 使道德准则成为能源系统监督的一个强有力部分** 在全球化的社会中,进行国际运作的公司应作为世界公民来行事。它们不仅应遵守国家法律法规,还应推动全球能源和环境日程前进。基本的工作道德准则,包

括诚实和避免腐败行为,是必不可少的,但是对道德准则的要求远不只这些。应在某一公司运作的国家中的所有工厂提倡自愿的能源和/或环境审查,在公众中广泛公布其结果,推广共同的安全、实绩和最佳工业实践标准,以及尊重能源工作者。这些是本文建议的全球体制和法人监督的其他内容。

WEC 还进行了与工作的道德行为尺度有关的能源个案专门研究,这项研究将是 2001 年第 18 届世界能源大会上圆桌讨论的主题。

### 从现在开始

WEC 在其声明中,特意把重点集中在直至 2020 年的这 20 年。这是为了更加可靠地预计变化和更明确地考虑具体政策行动。我们将对最近和证据的分析结果和这里所载的我们的建议提供给政府、业务领导和广大公众。但愿我们已在世界范围内从个人、社会、地区和国家的政治与社会结构角度促进了对能源的更好了解。

需要指出的重要一点是,政府或公司行动的时间和范围将因国家而异,这取决于其经济的成熟性和稳定性。我们已试图从全球范围来考虑通过促进地区行动来

实现能源的可持续发展。

能源工业显然是更广泛地使用商业能源服务、获得不中断的供应以及获得社会与环境上更能接受的能源产品的关键提供者。这些发展的速度、规模和性质部分取决于权限框架、其他社会角色的愿望和支持,以及所需技术和资金的使用。

缺乏对清洁能源政策目标的认识、教育和承诺以及实现这些目标的基本要求,是成功的最大障碍。这些障碍影响着决策者、公共主管部门、工业界和公众。它们使人更加不愿意支持旨在促进能源更加可持续发展的革新政策,不利于消费者改变态度和习惯,使股票持有者和其他投资者安于现状。

WEC 的情景规划现已展望到 2050 年以后。我们谁都不能忽视现代能源服务将会发展这一长远前景。在我们的看法和建议有助于为每个人带来最大利益的能源可持续生产和使用所及范围内,但愿我们在现在至 2020 年之间所完成的一切对于今后几十年世界的可持续发展是决定性的。因此世界能源理事会决心将其精力集中于如何实现能源目标,决心帮助实施本声明中所载的一切政策行动。 □

# 建立比较评估能源的能力 扩大动力基础

BRUCE HAMILTON, GUENTER CONZELMANN 和 DUY THANH BUI

对国家能源系统的分析现已到了前所未有的复杂程度。除了未来能源需求、技术性能和成本存在着不确定性外,能源规划者和决策者还遇到了环境保护、可持续发展、解除管制和市场放开之类的问题。与此同时,用于能源投资项目的公营部门资金正在逐渐减少。

IAEA 为其成员国提供了一项全面的技术援助与合作计划,它涵盖了与核能和平利用有关的许多不同领域。在能源比较评估领域,援助的目标是加强国家在详细制定可持续能源供应与使用模式方面的能力。援助方式有 3 种,即:

- 推广适合于发展中国家特殊需要的最新方法和决策工具;
- 提供在模型运用、解释结果并将其转变为决定或决策方面的培训;和
- 与要求援助的成员国合作进行国家研究。

## 分析能源的方法和工具

长期以来,IAEA 一直



Hamilton 先生和 Bui 先生是 IAEA 核能司规划与经济研究科职员, Conzelmann 先生是美国阿贡国家实验室国家与国际研究部经理。

照片:IAEA 正在向计划扩大发电系统的许多国家提供援助。

为就如何最好地满足一国的能源需求做出明智决定提供适当的数据、信息和分析工具。

**20 世纪 70 年代和 80 年代的最低成本规划** 在 20 世纪 70 年代初,IAEA 就开始支持开发和运用成员国用于分析核动力的潜在作用的电力系统分析工具。由于预计电力的未来需求是决定是否需要核动力的一个重要因素,所以早期的努力包括开发能源需求分析模型(MAED)。发展中国家利用这种模型准备预测与其国民经济与工业发展目标 and 可能性相一致的电力需求。

IAEA 与能源经济法律问题研究所(IEJE,法国格勒诺布尔)和国际应用系统分析研究所(IIASA,奥地利拉克森堡)合作开发了 MAED。该模型为探讨社会、经济、技术和政策的变化对能源需求长期演变的影响提供了灵活的模拟体系。此外,还特别强调对电力需求的预测,不仅要考虑年度总要求,还要考虑全年电力需求的时时分布。这种结果是任何动力系统扩大分析必不可少的输入。

为确定最经济的发电系统长期扩大方案,设计了维也纳自动系统规划包(WASP)。WASP 模型是田

纳西流域管理局(TVA,美国)于 1972 年为 IAEA 开发的,一直是 IAEA 进行电力领域规划时采用得最普遍和使用时间较长的工具。

必须指出,WASP 是在大多数国家认为电力是一种战略性利益期间开发的。这些国家建立了负责电力生产、输送和分配的单一纵向联合电力公司。在这种电力系统结构下,可用相当直接的方式分析系统的运行和扩大。可以根据最低可变成本将机组调度情况模型化,可将系统可靠性要求作为制约因素加以考虑,可以根据全系统最低成本贴现值制定扩大计划,核动力及其他发电方案的作用可以根据其相应的寿期成本来确定。

**20 世纪 90 年代的财务分析、环境负担评估及能源系统的一体化分析** 在日益放开的电力和金融市场中,为发电能力吸引投资与垄断条件下的国有电力公司所采取的投资战略差别很大。为了帮助满足能源规划者和决策者不断变化的需求,IAEA 与里昂信贷银行(法国巴黎)和巴基斯坦原子能委员会(PAEC,巴基斯坦伊斯兰堡)的工作人员合作开发了财务分析软件 FINPLAN。

在判断某一投资项目或计划的合理性时,利用 FIN-

PLAN 可以根据财政体制考虑的某些“比率”来评价动力扩大计划的财务后果。另外,FINPLAN 还有助于确定将产生投资回报的电力销售价格。根据模型提出的预测把价格对汇率、需求的波动、以及国内外货币可预见的通货膨胀率等因素的敏感性都考虑在内。此外该模型还考虑了简化的税收因素(包括考虑利率折扣的收入计算),过去报道的损失,可能的分期偿还率和比例税率。

一套用于能源与环境分析的计算机工具的开发工作是在 1993 年在 IAEA 的联合机构间不同发电能源比较评估的数据库和方法计划(DECADES)范围内开始的。这些工具包括用来求得不同发电技术、链和系统在技术、经济和环境等方面的折衷的数据库和分析软件。

已开发出两种技术数据库,以便提供有关发电能源链的全面、可靠和最新的信息。参考技术数据库包含有涵盖使用化石燃料、核动力和可再生能源发电的能源链典型设施的技术、经济和环境数据。国别特定数据库存有一国或一个地区为利用 DECADES 分析软件进行个案研究所需的专门数据。

能源与动力评价程序(ENPEP)是由美国阿贡国

## 比较评估：分析越南的能源未来

通过 1997 年启动的一项 IAEA 技术合作项目，越南一国家工作组利用广泛的计算机工具分析了该国能源的发展状况。该小组运用能源与动力评价程序(ENPEP)预测能源和电力的需求(利用能源需求分析模型即 MAED)；确定发电系统的最佳长期扩大方案(利用维也纳自动系统规划软件包即 WASP)；以及估算与发电有关的环境负担(利用 ENPEP 模块 IMPACTS)。

越南正迅速地从农业经济迈向工业经济，在过去几年中经济大幅度增长，预期会持续增长到 2020 年。加上城市化的加速、生活水平和消费水平的提高，预计电力需求将迅速上升。国家电力领域专家估计，到 2020 年互联系统的年峰负荷将从 1995 年的 2.75GWe 上升到 24.32GWe。假设平均年增长率为 9.1%，研究阶段开始时增长率较高(达到 11.5%)，结束时较低(6.7%)。这主要归因于工业、服务业和城市家庭方面电力需求的迅速增长。

发电系统扩大研究的结果表明，在此参考情景下，水电和天然气将满足该国绝大部分的电力需求。不过，水电、石油和煤的比例预计在 1995—2020 年期间将大幅度下降，天然气和核电比例将大大增加。水电的总装机容量从约 70% 下降到约 52%，石油发电能力从约 9% 下降到 2%，煤从 16% 下降到 9%。另一方面，燃天然气复合循环机组预计从 5% 增加到 29%。这一显著增长必然以该国的天然气储量为基础，已探明的储量估计为 6 太立方英尺(Tcf)，可能的天然气储量高达 10 Tcf。预计第一台核电机组将于 2017 年开始运行，到 2020 年核电总装机容量将达到约 2500MWe，占总发电装机容量的 7.7%。

该国家小组还将从 WASP 得出的电力系统扩大最佳配置引入到 ENPEP 的环境模块 IMPACTS 中，以估算未来的发电温室气体排放量。该模块根据 WASP 预计的燃料消耗及其一个数据库中已有的标准排放因数计算大气污染物排放量。结果表明，与发电有关的 CO<sub>2</sub> 排放量急剧增加。燃煤发电

机组的排放量由于燃煤发电的初步扩大，将持续增加，直至 2007 年。

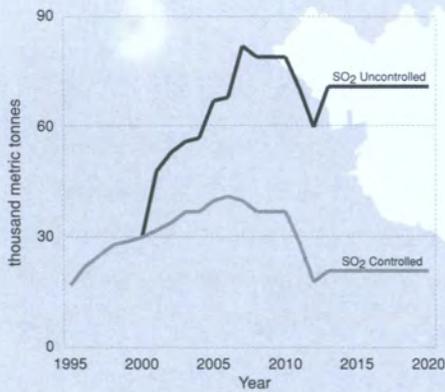
在研究阶段后期，由于现有煤电机组将退役，大量的水电项目和燃天然气复合循环机组预期投入使用，同时于 2017 年启动核电这一趋势将发生明显变化。到 2020 年，天然气将占越南动力部门 CO<sub>2</sub> 排放量的 61%。

预计该国南部和北部的排放量有明显不同。越南的燃煤机组大多位于北方，因为该国煤储量的绝大多数是在北部，这也是北方地区 SO<sub>2</sub> 排放量高(到 2020 年将达到 83%)的原因。在预测阶段后期观察到，由于 2007 年后老的和效率不高的煤电机组的退役和更换，北方 SO<sub>2</sub> 排放量将大幅度下降。另一方面，石油和天然气储量均位于南部地区(主要是近海地区)，促使燃天然气发电强劲增长。这种状况说明了南方预计到 2020 年将产生约 62% 的 CO<sub>2</sub> 排放量和 70% 的氮氧化物排放量的原因。

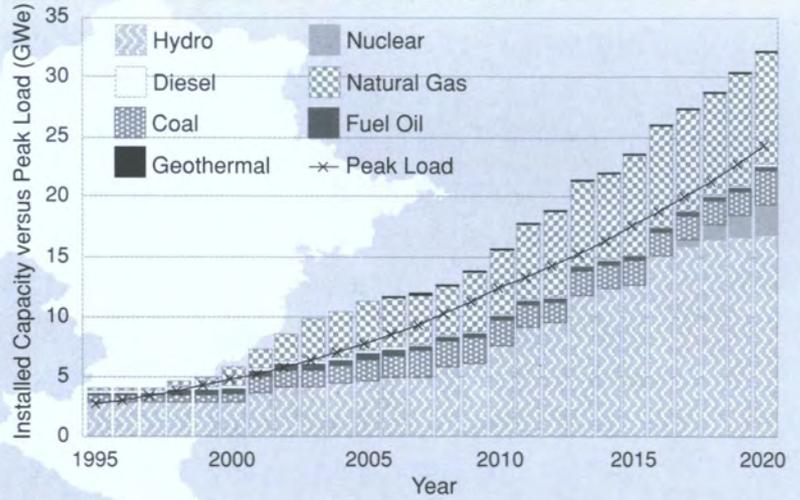
该国家小组还分析了执行越南关于限制颗粒物(PM)和二氧化硫的空气污染管理的效应。为控制 PM，小组考虑使用静电除尘器，这对现有机组来说，控制效率达 97%，对新机组，控制效率达 99%。为使新的煤电机组满足 SO<sub>2</sub> 排放率限值，国家专家考虑使用干烟道气脱硫法，这对燃国产低硫无烟煤(即硫含量为 0.52%)的新的煤电机组来说，控制效率为 70%，对燃进口烟煤(硫含量为 1.62%)的新的煤电机组，控制效率为 90%。然后利用 IMPACTS 模块，估算全系统符合空气管理要求的费用。

分析的一个重点是，在越南北部地区限制 SO<sub>2</sub> 排放的预期效应。结果表明，在研究阶段结束时，排放量将从 71000 吨减少到 21300 吨。就整个国家来说，在研究阶段，由于安装了脱硫工艺设施，共减少排放 858000 吨 SO<sub>2</sub>。这些减少量的贴现成本(10% 贴现率)总计 1.804 亿美元。结果是每减少 1 吨 SO<sub>2</sub> 的排放，需贴现约 210 美元。估计 PM 和 SO<sub>2</sub> 的总的环境达标贴现成本为 2.82 亿美元。

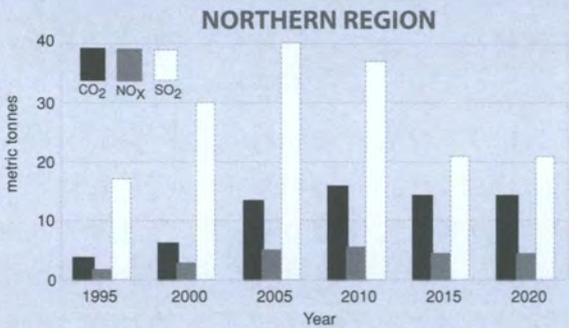
### SO<sub>2</sub> EMISSIONS WITH AND WITHOUT ENVIRONMENTAL CONTROLS IN NORTHERN VIETNAM



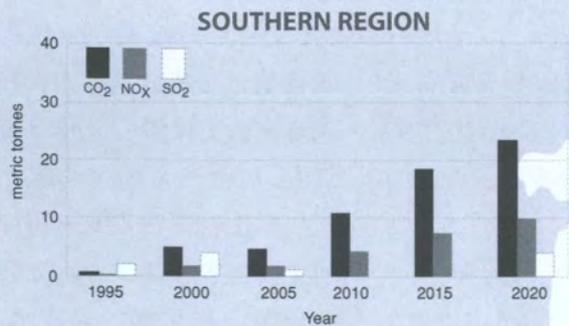
### VIET NAM ELECTRIC SYSTEM EXPANSION (REFERENCE SCENARIO)



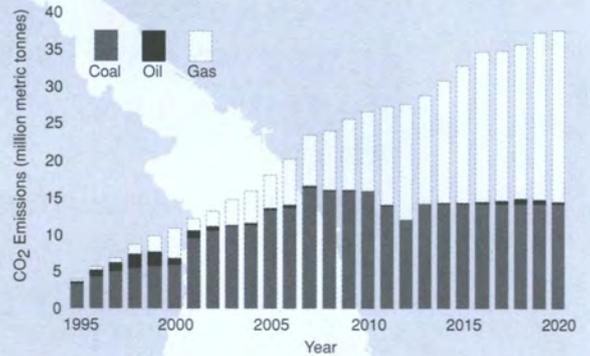
### PROJECTED REGIONAL EMISSIONS FROM ELECTRICITY GENERATION IN VIET NAM



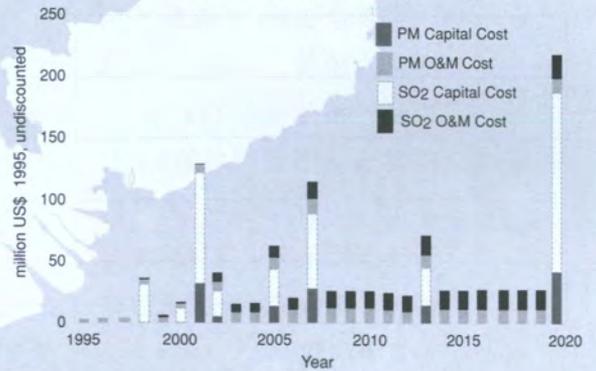
CO<sub>2</sub>: times 10<sup>6</sup> tonnes  
 NO<sub>x</sub>: times 10<sup>3</sup> tonnes  
 SO<sub>2</sub>: times 10<sup>3</sup> tonnes



### PROJECTED CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN VIET NAM FROM THE ELECTRIC POWER SECTOR



### PROJECTED COSTS OF ENVIRONMENTAL COMPLIANCE IN VIET NAM (PARTICULATE MATTER AND SO<sub>2</sub>)



家实验室(ANL)开发的,后来移交给 IAEA,供其向成员国推广。ENPEP 载有一套供一体化能源/电力系统规划和将环境负担量化使用的分析工具。其中的一个模块 BALANCE,被用于跟踪能量在从能源提取、经加工转换、到满足和平能源需求(例如供热、运输、电器)这一整个能源系统中的流动情况,采用基于市场的模拟方法预计未来的能源供需平衡。然后将这一分析结果传到另一个模块 IMPACTS,以计算与不同能源领域发展情景有关的环境负担(例如空气污染、固体废物的产生、土地使用、水污染)。

旨在可在个人计算机上使用的这个软件包的最新版,为在计算机屏幕上检查和修改具有代表性的能源网络而提供的已得到极大改善的图表用户界面。它还提高了评价温室气体(GHG)缓解情况的能力。

**满足 2000 年以后不断变化的需求** 为满足 IAEA 成员国不断变化的需求,还需要进行不懈的努力;尤其是,从 21 世纪议程、市场解除管制和私有化角度解决详细制订可持续能源发展战略等重要问题。

2000 年,机构将完成用

于估算和评价与发电有关的外部成本的简化方法(B-Glad)的开发工作。该程序是专为缺少详细数据且不能支付昂贵的分析费用的发展中国家使用而设计的,可在个人计算机上操作,仅需要输入最少量的数据。尽管 IAEA 的其他能源模型可以估算不同能源方案的环境负担水平,但 B-Glad 模型用来分析污染物的扩散和迁移,估算相关的健康和环境效应,并评价这些效应。B-Glad 还包含一个决策辅助模块,以便在比较各种能源方案时运用多重标准决定分析。

最后,鉴于电力市场最近发生的变化,IAEA 已开始实施一项旨在重新设计其 WASP 扩大规划方法的工作。随着世界各地电力系统重建工作的开始,各国电力公司正在进行不同程度的私有化,允许独立的电力生产者加入该系统,开放以竞标为基础的电力市场,以鼓励竞争。

目前,机构的 WASP 模型很难解决在重建后的市场中出现的许多问题。在 1999 年底,IAEA 开始了开发电力系统规划工具的努力,以便更好地帮助有关国家解决如何使用现有核电机组在新的

电力市场中能够参与竞争和新的核电机组如何适应长期发展计划等相关问题。

## 能源分析方面的培训

培训是 IAEA 建立能力活动的一个重要部分。自 1978 年以来,来自 73 个国家的 1000 多名专家参加了 IAEA 组织的地区和跨地区能源规划培训班。1999 年举办了 3 个这种培训班。

在一项地区(亚洲)发电方案比较评估项目名下,在巴基斯坦伊斯兰堡组织了一次培训班,其目的是在私有部门参与增多和电力领域资金有限的基础上帮助进行动力领域的合理规划和决策。培训重点是,在判定低成本电力系统扩大计划是否具有足够的资金和能否满足国家空气污染物排放限值时,如何运用 IAEA 的电力系统规划工具分析不同发电技术和独立电力生产者(IPP)合同。

在意大利的里亚斯特举办了一期欧洲地区培训班“为支持可持续能源发展而对核动力与其它发电方案和战略进行比较评估”。培训重点是,每个参与国家小组如何从事比较评估研究。研究的主要内容包括:(1)建立载有能源设施和燃料的技术、经济和环境特征的国别专门

数据库；(2)描述整个发电能源链在相关费用、空气污染物排放、固体废物产生和土地使用方面的特性；(3)制定最低成本电力系统扩大计划；以及(4)估算可选择的电力系统扩大战略的环境负担水平。

利用能源与动力评价程序(ENPEP)进行能源与核动力规划研究的跨地区培训班,是在美国阿贡国家实验室举办的。这期培训班的目的是,在一体化能源/电力规划和与不同能源领域发展前景有关的环境负担的量化方法方面对来自发展中国家的专家进行培训。这期培训班的主要内容包括:与国家能源系统规划有关的概念和术语的概述,能源链的特征描述,能源—经济—环境规划之间的相互关系,通过节能措施减少能源需求的可能性,资源要求与能源系统的环境效应的评价,GHG 缓解评价方法,利用ENPEP进

行国家研究,以及研究报告的编写和说明。

除了这些培训活动外,还在越南组织了一次国家清洁发展机制(CDM)与核动力研讨会,以提高越南对《京都议定书》下的灵活机制的认识,以及探讨核动力是否适合作为越南 CDM 技术。还为此目的在捷克组织了一次地区《京都议定书》联合执行机制研讨会,在维也纳为 IAEA 常驻代表团组织了一次信息研讨会。

### 国家能源研究

IAEA 于 1997 年制定的技术合作战略表示,与成员国的技术合作应逐渐促进有形的社会经济效应,以成本效益显著的方式直接对实现每个国家主要可持续发展的优先考虑项目做出贡献。

有几个成员国已要求 IAEA 帮助加强国家在可持续能源发展方面的能力。1999 年,IAEA 通过在巴西、

保加利亚、克罗地亚、捷克共和国、埃及、立陶宛、墨西哥、摩尔多瓦、波兰、斯洛文尼亚、苏丹和越南等国实施的国家项目为各国提供了援助(见第 10 和 11 页方框和图),以评价核动力及其他能源方案在其电力供应系统的未来扩大中的作用,同时适当考虑技术、经济和环境问题。在欧洲、东亚和太平洋地区的地区项目还满足了成员国在可持续能源发展比较评估方面的需要。

在 20 世纪 90 年代初期,大多数项目集中于确定核动力在一国最经济的电力系统扩大战略中的作用。最近的项目包括以市场为基础的能源系统研究和环境负担的评价。预期今后这方面的项目将逐渐集中于通过估算外部成本进行发电方案的更全面的成本核算,评价核能在缓解温室气体排放方面的优点,以及分析核动力在私有化电力市场中的作用。□

# 可持续能源发展的指标 跟踪进展的工具

ARSHAD KHAN, HANS-HOLGER ROGNER 和 GAREGIN ASLANIAN

**在** 1987年世界环境与  
发展委员会发表 Brundt-  
land 的报告《我们共同的未  
来》中提出了可持续发展这  
一概念。1992年6月,在巴  
西里约热内卢召开的联合国  
环境与发展会议(UNCED,  
通常称为地球首脑会议)通  
过的《21世纪议程》,即《环  
境与发展里约宣言》,使这一  
概念获得了进一步发展,并  
成为全世界关注的焦点。

关于可持续发展,  
Brundtland 报告的定义为:  
“能满足当代的需求,而又不  
损害后代满足其本身需求的  
能力的发展”,但是还没有一  
个普遍都能接受的定义。

地球首脑会议通过的  
《21世纪议程》既要解决当  
今的紧迫问题,又旨在让全  
球作好迎接21世纪挑战的  
准备。全文共40章,它为联  
合国系统各组织机构、政府  
和人类对环境造成影响的各

个领域的主要组织提供了全  
面的行动计划,涵盖了对可  
持续性四个主要方面即社  
会、经济、环境和制度中的  
一个或多个方面有明显影响  
的所有重要问题(见第15页  
方框)。1992年12月由联合  
国创立的可持续发展委员会  
(CSD),负责确保 UNCED  
后续行动的有效进行,并监  
督和报告地球首脑会议协定  
在地方、国家、地区和国际  
上的履行情况。

《21世纪议程》的最后  
一章明确要求国家和组织机  
构制定可用于跟踪和评估进  
展的可持续发展“指标”。本  
文评述了为此目的采取的重  
大行动,并重点介绍 IAEA  
与合作组织为制定一套可  
持续能源发展的指标而正在  
开展的工作。

## 能源和可持续发展

能源在我们社会中的作

用举足轻重:它是社会发展  
和经济增长的重要条件。能  
源不仅满足我们的取暖、制  
冷、食品烹饪、照明、交通  
运输等日常生活的基本需要,  
而且还是所有工业部门中头  
等重要的生产因素。

同时,能源的生产和利  
用是造成全球、地区或地方  
重大环境质量退化的原因。  
例如,燃烧化石燃料和薪材  
会导致室内外空气被颗粒  
物和硫、氮的氧化物所污  
染;水力发电由于大面积陆  
地淹没而引起严重的环境  
破坏;由大气中温室气体浓  
度不断增加造成的全球气  
候变化已成为今天全球关  
注的主要问题。另外一些  
与能源有关的

---

Khan 先生是 IAEA 核能司规  
划与经济研究科职员,Rogner  
先生是该科科长。Aslanian  
先生是莫斯科能源政策中  
心副主任。有关本文的详  
细内容可向作者索取。

环境问题有：自然资源枯竭、废物堆积(其中包括放射性废物)、森林砍伐、水污染和土地破坏。

在能源消费水平上,不仅国家之间存在很大差异,而且同一国家富裕人群和贫困人群之间也是如此。值得注意的是,至今仍有 16 亿人没有用上电或其它形式的商业能源,全球最富裕的 20% 人口使用了 55% 的一次能源,而最贫困的 20% 人口只使用了 5%。

随着世界范围内对能源需求的日益增长,地球有限的化石燃料资源的供给能力的可持续性受到了质疑。虽然这可能是全球长期关注的问题,但供应的安全性和进口能源连续不间断的可获得性对那些本国能源资源匮乏的国家来说,是一个迫在眉睫的问题,对那些大量依靠石油和天然气进口的国家尤为如此。

因此,以可接受的成本和以安全和对环境有利的方式提供充足的能源服务是可持续发展的一个重要方面。1997 年联合国大会第 19 次特别会议(地球首脑会议+5)在审议《21 世纪议程》计划时,特别指出需要采取行动,以促进能源的可持续生产、分配和利用。这次特别会

## 能源和《21 世纪议程》

《21 世纪议程》充分认可了能源对可持续发展的重要性。在这方面,《议程》第 9 章清楚地阐明:

“能源对于经济和社会发展以及生活质量的提高至关重要。但是,如果技术维持不变,以及能源的总消费量仍将大量增加的话,目前世界大部分能源的生产和消费方式是不可持续的。控制温室气体和其它气体与物质的大气排放越来越需要以高效的能源生产、运输、分配和消费为基础,并越来越依赖于环保型能源系统,尤其是新能源和可再生能源。所有能源都需要以尊重大气、人类健康和整个环境的方式加以利用。”

能源——和可持续发展指标的制定——包括在《21 世纪议程》中确定的 36 个问题中。《21 世纪议程》中包括的问题是:农业;大气;生物多样性;生物技术;建立能力;消费和生产方式;人口统计;土壤沙漠化和干旱;教育和认识;能源;金融;森林;淡水;健康;人类居住;指标;工业;信息;总体决策;国际法;体制安排;土地管理;重要集团;山脉;海洋;贫困;科学;小岛屿;可持续旅游;技术;有毒化学品;贸易和环境;交通运输;(有害)废物;(放射性)废物;和(固体)废物。

议在制定 CSD 的多年《工作计划》时,决定将大气/能源定为 2001 年 4 月召开的 CSD 第 9 次会议(CSD-9)的分主题;CSD-9 还将关注能源和运输问题。

最近,作为其全球评估的一部分,世界能源理事会呼吁在政策上采取行动促进实现能源可使用性、可获得性和可接受性等目标(见第 2 页相关文章)。

### 指标的制定

**可持续发展指标** 虽然

可持续发展目标所涉及的范围很广,但还是要有一套量化的参数(指标)来衡量和监测实现目标过程中出现的变化和进展。因此,自从 Brundtland 报告发表以来,许多国际和国家组织也一直在努力制定可持续发展一个或多个方面的指标。

经济合作与发展组织(OECD)曾做了一些开拓工作。近 10 年间,OECD 已经为若干领域制定了相应的环境指标,其中包括与运输、能源、农业有关的指标,和一

套从环境资源统计推导出的指标。通过这项工作,已经确定了一套涉及约 50 个项目的核心环境指标。

OECD 的另一项行动是制定一个概念性框架,称之为“压力-状态-响应”(PSR)模型,用来对不同环境指标的性质进行分类。在这个以因果关系为基础的模型中,环境压力指标表示人类活动对环境(包括自然资源)产生的“直接的”和“间接的”压力;环境条件(“状态”)指标与环境的质量以及自然资源的质量和数量有关;社会响应指标表明社会通过单独行动和联合行动及反应对环境问题的响应程度,其目的是:(1)减轻、改变或防止人为诱发的对环境的负面影响;(2)停止或扭转已经造成的环境破坏;(3)保护和维持自然和自然资源。

《21 世纪议程》通过之后,制定指标的工作得到了巨大的促进。《21 世纪议程》第 40 章特别要求各国和国际政府组织和非政府组织制定可持续发展指标(ISD)概念。1995 年,CSD 制定了一个为期 5 年的《关于制定可持续发展指标的工作计划》(WPISD),以帮助国家一级的决策者。它决定,除环境问题外,ISD 还需要涵盖社会、

经济和制度问题,因为其中的每条内容都代表可持续发展的一个重要方面。通过与许多政府和组织的合作,CSD 于 1996 年制定了一个涵盖《21 世纪议程》各章节的有 134 个可持续发展指标的初始工作清单。

WPISD 没有将其工作清单中包括的指标当作是一套完整的指标来提供。它只想经过必要的改进后将其作为一套核心指标来使用,可以添加涵盖可持续发展特定方面的其它指标或若干套指标。目前世界不同地区的 22 个国家正在国家一级自愿试用 CSD 工作清单。CSD 的目标是到 2001 年制定一套一致认同的核心指标,供所有国家使用。

为了阐明不同指标的性质,CSD 采纳了 OECD 的框架,并以“驱动力”代替“压力”概念对其作了进一步扩展。在此 DSR(驱动力-状态-响应)框架中,“驱动力”指标包括对可持续发展有正面或负面影响的人类活动、过程和方式;“状态”指标是指可持续发展的状态;“响应”指标强调对可持续发展“状态”变化采取的政策方案和其它响应行动。

后来,在 1998 年,联合国经济和社会事务部可持续

发展司(DSD/DESA)确定了一套关键指标(共 43 项)和一套衡量消费和生产方式变化的临时性的核心指标(共 17 项)(IMCCPP)。它们涵盖所有的“关键资源”——能源、材料、水和土地——以及“消费群”——汽车业、消费品和服务、建筑物和房屋管理、食品和娱乐活动。

这套临时性的 IMCCPP 核心指标将在各国政府和国际组织试验后,纳入 CSD 经修订的 ISD 清单中。

其它相关活动,值得特别一提的是欧盟统计局(EUROSTAT)和欧洲委员会欧洲环境机构(EEA)目前正在开展的有关环境指标的工作。他们也采纳并扩展了 OECD 的方法,并建立了一个新的模型,称为驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)模型。涉及驱动力、压力和响应的指标正在由 EUROSTAT 制定,而涵盖状态和影响的指标则由 EEA 制定。最近,EUROSTAT 提出一套涉及 60 个项目的压力指标,包括为欧盟第 5 个环境行动计划确定的 10 个主要项目(空气污染;气候变化;生物多样性的丧失;海洋环境和海岸地区;臭氧层的消失;资源枯竭;有毒物质的扩散;城市环境问

题；废物；水污染和水资源）中的每个项目制定的 6 个指标。它还打算研究将这 60 个指标合成 10 个指数的可能性，每个指数对应一个政策领域，以使其能与国内生产总值等经济指数进行更好的比较。DPSIR 模型已成为大多数欧盟成员国用来组织环境信息的最适用手段。

许多国家，如联合王国、美国、加拿大、法国、荷兰和北欧国家等，正在制定或已经制定适合本国国情的可持续发展指标。总的说来，所有这些工作在确定和分类各种适用指标方面都利用了 PSR 和 DPISR 方法。

包括世界银行和国际科学学会联合理事会成立的环境问题科学委员会在内的一些组织，也在开展工作，旨在通过确定和评估可持续发展的各种社会、经济、环境和制度要素之间的联系来制定可持续发展的集合指标或少量指数。这一个过程要利用多少有些复杂的数学公式，按照每个指标的相对重要性赋予适当的权数，将若干个指标合成一个单一指数。

这类指标的两个例子是“真实节省”指标（定义为在充分考虑自然资源的枯竭和污染造成的损害后一个国家的真实节省率）和“国家财

富”指标（表示已生产的资产的存量、自然资本和人力资源的一个总指标，其中人力资源包括未经培训的劳动力、人力资本和社会资本）。

尽管集合指标很有助于减少指标的数量，但它有一个严重缺陷，因为综合各个不同指标所用的权数反映主观倾向。这是一个政治选择问题。因此，在一些情况下，会产生一些没有实际意义的结果。

### 可持续能源发展的指标

到目前为止，在制定可持续能源发展指标（ISED）方面几乎没有开展工作。不过，在一些国际和国家组织的工作中，的确出现了若干能源相关的指标。其中，OECD 关于环境指标，尤其是部门能源—环境指标的工作，对能源相关指标有最详细的涵盖。能源—环境指标是为促使将环境问题纳入 OECD 国家的能源决策而制定的。利用经调整的 PSR 模型，这些指标被分为三个方面：i) 有环境意义的能源部门发展趋势，ii) 发展趋势与环境和自然资源的相互作用，和 iii) 相关的经济和政策考虑。

在不同的工作中，OECD 国际能源机构（IEA）

制定了一些针对不同经济部门中能源利用和效率的指标，并借助一个称为能源/排放指标模型的模型将其与碳排放联系在一起。尽管 WPISD 的 ISD 工作清单没有明确涉及能源问题，但它也包括若干被确定与《21 世纪议程》特定章节有关的能源相关指标。

DSD/DESA 已经确定将一些专门适用于能源部门的指标作为其从事“不断改变的生产和消费方式”（《21 世纪议程》第 4 章）工作的一部分。一般涉及环境问题的不同能源相关指标，也出现在 EUROSTAT、EEA 的工作和各种国家项目中。

IAEA 还制定了一套涉及与放射性废物管理有关的环境问题（《21 世纪议程》第 22 章）的 7 个指标。IAEA 还在与国际组织和成员国合作进一步制定一套完整的 ISED 指标和一套核心的 ISED 指标（见第 18 页方框）。

到目前为止，指标制定的大部分工作仅仅涉及可持续性的环境方面，而且做得分散。仍缺少一个涵盖可持续性所有四个方面的综合处理能源部门问题的方法。

为可持续能源发展制定一套综合指标的必要性，正日益引起关注。1997 年 UN

## 可持续能源发展指标: IAEA 的工作

作为 1999—2000 年 2 年期“能源比较评估”工作计划的一部分,IAEA 提出了一个有关“能源可持续发展指标(ISED)”的项目。核能司规划与经济研究科正在进行这方面的工作。设想的任务是:(1)确定能源的可持续发展的主要组成部分,制定一套自洽的适用指标,并考虑《21 世纪议程》需要的指标;(2)确定 ISED 与《21 世纪议程》指标之间的联系;以及(3)审议机构的数据库和工具,以确定应用 ISED 所需要作的改进。

前两项任务正在来自各国际组织和成员国的专家的帮助下进行。为此已举行了两次专家组会议,一次是在 1999 年 5 月,另一次是在 1999 年 11 月。确定了下述 9 个问题为与能源的可持续发展有关的需要解决的关键问题:社会发展;经济发展;环境适宜性和废物管理;资源枯竭;能源充足供应和不平衡;能源效率;能源安全;能源供应方案和能源价格。

最初为了涵盖这些关键问题制定了约含 100 个 ISED 的初始清单。利用其它组织在环境领域所作的工作,开发了一个专门针对能源部门的新的概念框架模型。这一模型基于“原因、表现和解决”方法并包括了可持续发展的所有 4 个方面——社会、经济、环境和制度方面。

对可持续性的每个方面而言,该模型有助于这样处理已确定的指标:将它们划分为驱动力、状态和响应行动指标,来表明它们

之间的联系。为体制方面确定的指标只分为纠正政策措施或响应行动。它们由可持续性其它 3 个方面的状态指标决定。

在这个概念模型框架内,制定了两个临时性 ISED 清单——一个完整清单和一个核心清单。它们涵盖为下述能源的可持续发展的经济、社会和环境方面的与能源有关的主题和分主题制定的指标:

**经济方面:**经济活动水平;所选部门和不同制造业的最终利用能源密集度;能源供应效率;能源安全;以及能源价格。

**社会方面:**能源的可使用性和不平衡性。

**环境方面:**空气污染(城市空气质量;全球气候变化问题);水污染;废物;土地使用;事故风险;能源资源枯竭;以及森林砍伐。

临时性完整清单包括 28 个驱动力指标,13 个状态指标和 29 个响应行动指标。临时性 ISED 核心清单是在 1999 年 12 月于巴巴多斯举行的可持续发展 CSD 指标国际研讨会上提出的。

在临时性 ISED 完整清单和核心清单的改进工作还将持续一段时间的同时,计划由各国在有限的范围内对其进行试验。这是在与 IAEA 合作从事各自的可持续能源战略制定工作的国家小组的帮助下安排的。希望这一工作将有助于机构一方面对 CSD 能源相关问题方面的工作做出有益贡献;另一方面改造自己的数据库和方法学工具,使其更适于处理能源的可持续发展问题。

特别会议通过的工作计划和将能源问题作为 2001 年 4 月 CSD 第 9 次会议主要议题的决定都强调了这个问题的重要性。

这些都是令人满意的发展。在沿着富有挑战性的可持续能源发展道路前进过程中,需要制定若干套有用的

指标帮助各国政府跟踪和评估取得的进展。IAEA 正通过一系列活动,在这方面的国际努力中起主导作用。□

# 不同电力生产链的温室气体排放 评估差异

JOSEPH V. SPADARO, LUCILLE LANGLOIS 和 BRUCE HAMILTON

在过去 10 年中,因温室气体 (GHG) 的排放,世界范围内关于人类活动对全球气候系统的影响的大辩论越来越多。到目前为止,讨论一直主要集中在二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)、甲烷 (CH<sub>4</sub>)、一氧化二氮 (N<sub>2</sub>O), 以及含氟、氯和溴的卤代化合物的人为排放上。这些气体的大气浓度自前工业时代以来已明显增加,对于甲烷来说实际上已提高一倍以上。

为了将这些气体的大气浓度稳定在能最大限度地降低全球气候发生重大改变的风险水平上,130 多个国家在 1992 年于巴西召开的“全球首脑会议”上批准了《联合国气候改变框架公约》(FCCC)。此后在京都举行的缔约国大会第 3 次会议 (1997 年 12 月) 继续为此作出努力,会上决策者就国别 GHG 排放量减少指标达成一致。

当前,工业化国家,即附件 I 国家,应对世界范围内大部分的 GHG 排放负责。将近 2/3 的 GHG 排放可归因

于与发电和运输部门有关的活动。因此,附件 I 国家要满足《京都议定书》的要求,就需要坚定承诺开发利用那些低碳排放的能源。当这些国家展望满足今后能源需求的时候,改进燃料至能量利用的转换工艺也将起重要的作用。由于发展中国家不受《京都议定书》的约束,而它们的能量消费又与日俱增,所以 GHG 的排放率会迅速提高,预计到 2025 年底发展中国家将在全球排放中占有主要份额。

鉴于发电部门是排放 GHG 的大户 (目前占全球总排放量的 1/3), 国际原子能机构 (IAEA), 对利用化石燃料、核动力和可再生能源进行电力生产的全部活动 (链) 所造成的 GHG 排放进行了审查,并作为其各种能源比较评估计划的一部分。IAEA 从 1994 年 10 月至 1998 年 6 月举办了一系列 6 次咨询组会议,内容包括以下燃料链:

两个方面。首先,与会者就完整的发电能源链提出了一套自洽的 GHG 排放系数。第二,他们指出了为促进履行 FCCC 的承诺而可以开发利用的燃料和工艺选择方法。本文介绍和讨论这些会议的成果和主要结论。

## GHG 排放系数

通过各种研究分析了各种不同类型燃料的 GHG 排放系数的变化范围,其结果以克碳当量 (包括 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 等) 每千瓦时电 (gC<sub>eq</sub>/kWh) 表示。第 21 页上的图示出了现有电厂 (20 世纪 90 年代工艺) 的数据和预期将在中短期内投入运行的系统 (2005—2020 年工艺) 的排放系数。

这些估计值反映了在评估方法学、转化效率、燃料制备与随后运往电厂现场的做法上的差别,以及为满足与

作者均为 IAEA 核能司规划与经济研究科职员。本文全部参考资料可从作者处得到。

## 温室气体与能源开发

《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)秘书处印发的一系列事实资料卡,着重说明人类活动如何产生 GHG。其要点包括:

- 大部分最重要的人类活动都排放 GHG,其中许多活动目前对全球经济是至关重要的。

- 燃烧化石燃料产生二氧化碳是人类活动中最大的 GHG 排放源。化石燃料的供应和使用约占人类活动排放的二氧化碳总量的 3/4。

- 化石燃料燃烧时产生与能量利用有关的大部分排放。石油、天然气和煤提供了用于生产电力、驱动汽车、房屋采暖和开开工厂的大部分能量。如果燃料完全燃烧,唯一含碳的副产物就是二氧化碳。然而燃烧常常是不完全的,所以也产生一氧化碳和其他碳氢化合物。因为燃料燃烧引起燃料或空气中的氮与空气中的氧化合,这样就产生了一氧化二氮和氮的其他氧化物。

提取、处理、运输和配送化石燃料也排放 GHG。

详细资料可查阅 UNFCCC 因特网址([www.unfccc.de](http://www.unfccc.de))上的“气候变化信息包”。

电厂建造和设备制造有关的电力需要而假定的燃料构成之类的当地问题上的差别。未来排放率考虑了燃料至能量利用的转换工艺的改进,燃料提取和运输期间排放量的降低,以及电厂和设备建造期间更低的排放量。

对于化石燃料来说,总排放率是燃料燃烧期间的烟卤排放以及上游和下游活动(链)的排放之和。一般来说,电厂建造和退役时的 GHG 排放以及连接电厂和电网的动力线路的贡献小到可以忽略不计。例如,电厂建造和退役的贡献可能仅占 GHG 总

排放量的 1%。

对于水能、太阳能和风能工艺来说,电厂的规模和类型是分析中的关键因素。厂址的地理位置选择和当地建造法规等方面的考虑,对排放率有显著影响。图中示出这些因素对 GHG 排放率的影响。

IAEA 支持的各咨询组会议的结果一致表明,化石燃料工艺排放系数最高,天然气的排放系数约为煤或褐煤的一半,而燃料油的排放系数为煤 2/3。另一方面,核能和水能的 GHG 排放最低,为煤的 1/50 到 1/100(取决

于工艺)。太阳能的 GHG 排放居中,约为核能 10 倍。

## 分析方法

寿命循环评估(LCA)的目标是通过考虑流程每个步骤的质量流和能量流来计算与生产单位产品相应的环境负担。在电力生产的情况下,最终单位产品是 1kWh 的能量。

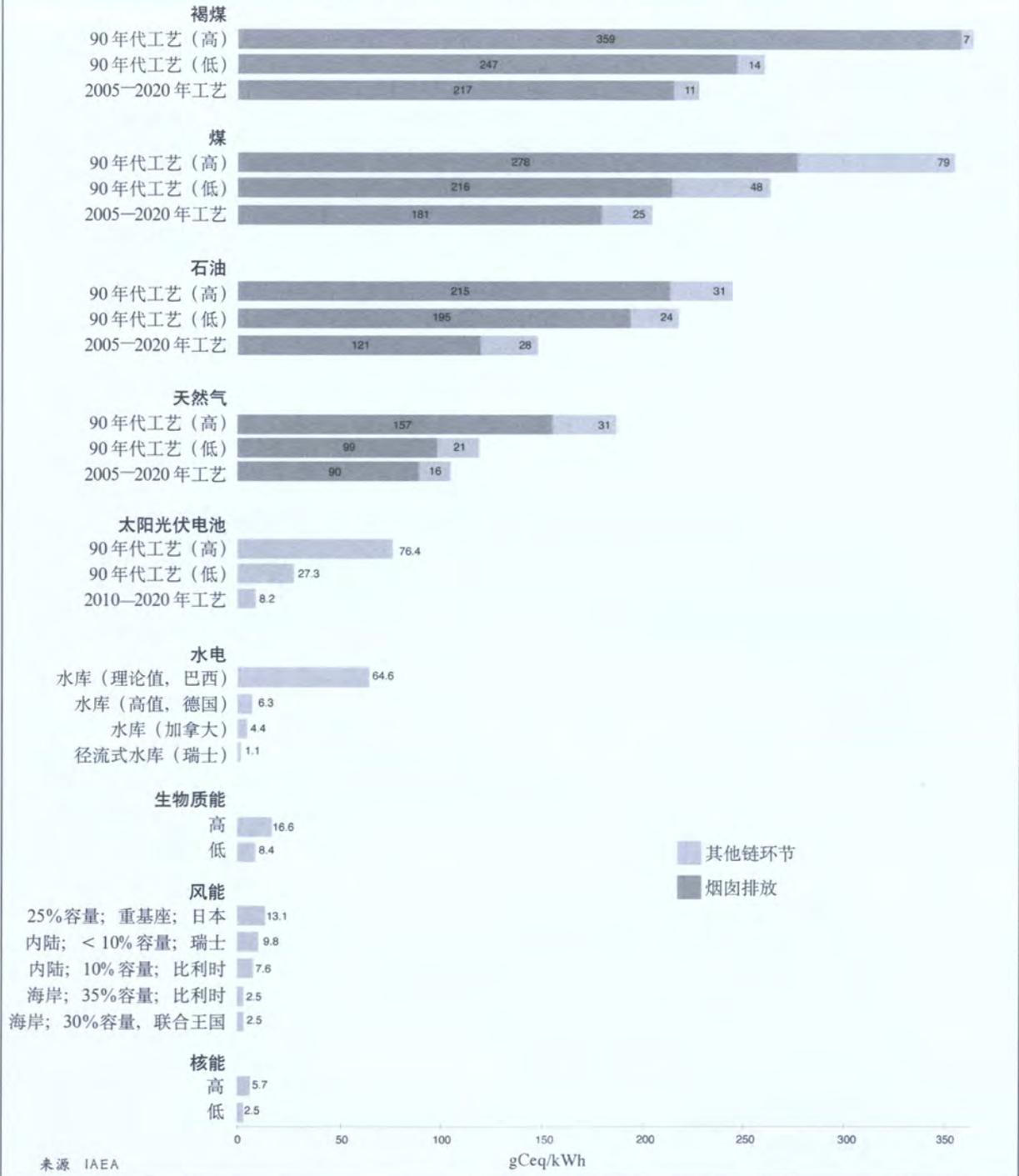
LCA 或是过程链分析(PCA)有时要由投入—产出分析(IOA)加以补充。这种分析考虑参与生产最终产品的不同经济部门所造成的间接排放,例如在处理过程、机械设计和劳动力方面所用的电力。

忽略这些投入,由于人为缩小了分析的系统边界,而导致低估环境后果。例如,用 IOA 计算的化石燃料温室气体排放率比用 PCA 得到的要高 30%。对于核动力来说,偏差可能更加显著,能相差一倍。

## 分析的系统边界

比较不同的能源系统时,选择系统边界至关重要。例如,忽略化石燃料循环上游和下游的活动,能使 GHG 总排放率低估 5%至 25%。对于核动力和可再生燃料来说,在发电这一环节没有

## 各种电力生产链温室气体总排放量的变化范围



GHG 排放,但是在燃料采  
矿、制备和运输、电厂建造和  
退役、设备制造和有机物腐

烂期间却存在着大气排放。  
排放水平明显依赖于电厂  
工艺和厂址的地理位置选择。

将“从头到尾”所有环节  
考虑在内进行全能源链  
(FENCH)计算,或许是比较

不同发电燃料和不同发电工艺的气候和环境负担的最公平的办法。分析能力和常识将最终决定系统边界的选择。排放强度最起码应包括燃料供应链和电力生产阶段,对于核能和可再生能源来说还应包括电厂建造和材料要求方面的贡献。一种更详细的分析可将系统边界一直扩展到能量的终端利用,即下延到电器这一层次。

对于在较低层次上的像风能、太阳能和水能之类的间歇发电工艺,存在所分析的系统是否应包括后备(第二)电源的问题。最好的办法是分别计算主系统和后备系统的排放。其优点有三。第一,根据给定工艺的利用情况,严格确定主系统的排放。第二,可以彻底弄清年可用率(每年运行时数)的影响。第三,允许对不同的后备方案进行比较。

### 全球趋暖势

全球趋暖势(GWP)是对大气中某种气体相对与一种参考气体(通常假定为二氧化碳)而言捕获地球表面辐射热的能力的一种度量。各种气体在大气中的寿命相差悬殊,因此结果要对不同

时间间隔进行积分。通常选取的时间段为100年。

下面给出的是各种全球趋暖势的最新估计值(100年时间段)。这些数据是国际气候改变委员会针对电力生产链排放的最常见的温室气体计算得到的:

- 二氧化碳(CO<sub>2</sub>)=1;
- 甲烷(CH<sub>4</sub>)=21;
- 一氧化二氮(N<sub>2</sub>O)=310;
- 六氟化硫(SF<sub>6</sub>)=23900;
- 四氟代甲烷(CF<sub>4</sub>)=6500;
- 含氢氟烃(HFC): HFC-134a=1300;
- 含氯氟烃(ClFC): ClFC-114=9300;
- 含氢氯氟烃(HClFC): HClFC-22=1700。

### 转化效率

燃料到电力的转化效率和电厂负荷因子都对燃料燃烧时GHG的排放率有影响。在转化效率或负荷因子提高时,GHG排放系数降低。CO<sub>2</sub>的排放取决于燃料的碳含量和转化效率;N<sub>2</sub>O的排放率主要由工艺因素决定;而甲烷的排放主要与化石燃料供应方法相联系。粗略地

说,排放率与转换效率成反比。在效率刚好为40%时,效率再提高1%,GHG排放率就减少2.5%。当效率更低时,排放率的减少更加明显;而当效率更高时,则会有相反的变化。热效率总是随负荷因子的降低而降低,并且这种变化高度依赖于工艺。

当前正在运行的系统的典型转换效率的变化范围如下:烧褐煤电厂,27%—40%;烧煤电厂,30%—45%;烧油电厂,34%—43%;烧天然气电厂,35%(峰荷供电)—55%。低效率电厂通常位于发展中国家。

从中期发展来看,对于可得到的最好工艺,预期转换效率的变化范围对烧煤电厂为50%—55%,对于烧气电厂为60%—65%。

对核燃料和可再生燃料而言,动力转换方面的改进将对环境排放产生较小的影响,因为没有烟囱排放,其他排放只与燃料供应、电厂建造和材料制造有关。实际上,随着更新的工艺产生更高的效率,燃料需要和总排放量将会不断减少。

### 未来发电系统

更新的和效率更高的工

## 影响排放率的诸多因素

GHG 排放率受诸多因素影响。下面概要给出每种燃料类型的主要参数。

### 化石燃料

- 燃料特性,如含碳量和热值;
- 矿山的类型和位置;
- 燃料提取方法(影响运输要求和甲烷排放);
- 天然气的输送损失;
- 转化效率;
- 满足燃料供应和电厂建造/退役相关的电力需要而选定的燃料构成。

### 水能

- 类型(径流或水库蓄水式);
- 电站位置(热带还是北方气候);
- 筑坝使用的能量;
- 电站建造(混凝土和钢)造成的排放,它决定了径流式和“阿尔卑斯式”(山间)水库的温室气体总排放量。对于表面一容积比高的(一般位于加拿大和芬兰等北方地区)和热带湿润地区(巴西)的大型水库来说,温室气体排放率受到在发大水时淹没的生物质的腐烂和地表沉积物的氧化(造成大量  $\text{CH}_4$  排放)的影响。对于“北方式”水库来说,  $\text{CO}_2$  的排放率至少比  $\text{CH}_4$  的高 10 倍。

### 生物质能

- 原料性质(含水量和热值);
  - 用于满足原料需要(生长、收获和运输)的能量;
  - 作物种植技术。
- 生物质燃烧的二氧化碳排放系数是平衡的。这意味着生物质燃烧时排出的碳等于作物生长时为维持生命所摄取的碳。

### 核能(轻水反应堆)

- 燃料提取、转化、富集和建造/退役(加上材料)所使用的能量;
- 用气体扩散法富集燃料,这是一种高能耗工艺,其 GHG 排放比用离心法富集高一个数量级。
- 富集阶段造成的排放,取决于当地燃料构成,因国家而异,差别显著。
- 燃料后处理(铀的氧化物或混合氧化物),其排放可占核能总 GHG 负担的 10%—15%。

### 风能

- 风翼制造和装置(塔和基座)建造所使用的能量;
- 电力构成和建造法规,因国家和场址(例如是内陆装置还是海岸装置)不同而可能有很大差异;
- 每年的发电量或容量因子(取决于场址自然条件),它决定了装置的运行频度(可用率)。在估计发电间歇度时,平均风速是关键参数(风速提高 50%,年发电量约可增加一倍)。

### 太阳光伏电池(PV)

- 制造电池所用硅的数量和品级;
- 工艺类型(无定形材料还是结晶材料);
- 装置类型(屋脊式还是直立式);
- 为满足电力需要选定的燃料构成;
- 装置的年发电量和假定寿命,它们是在计算每 kWh 排放时的重要因素(对于风能也是如此)。太阳能和风能每 kW 的排放较低,但容量因子较低使其每 kWh 排放具有高值。

艺将不可避免地替代目前的系统,尽管在中短期(下一个 10—20 年)内预期在工业化

国家中电力生产工艺不会有全面彻底的改变,因为在能源工艺和基础结构方面已经

投入大量资金。对发展中国家来说,新能源系统的发展还不太清楚,因为这些

国家面临着与经济、社会、政策和环境问题有关的困难选择。

缓解环境问题的压力以及经济和政治因素,将推动改进工艺的采用以及生物质能、风能和太阳能等可再生能源的推广使用。

对于化石燃料系统,最大的改变将来自现有工艺转化效率的提高(例如联合循环运行)、天然气输送过程中甲烷泄漏率的降低、燃料开采中甲烷回收率的提高、对燃料化学性质的控制(例如通过洗煤提高煤的热值)以及电厂位置的优化(以尽量减少燃料运输造成的排放和电力输送损失)。专家估计,欧洲今后烧化石燃料系统的排放率可比目前的排放率低35%—50%。

对于核电来说,主要改进将涉及放弃能耗巨大的气体扩散工艺而改用离心法(或激光工艺)富集燃料、提高转化效率、扩大采用燃料后处理和核电工艺今后的进步(见第43页和51页相关文章)。

水轮机工艺的改进将影响来自水电的排放,而对间歇发电系统来说,材料和部件要求的降低以及转化效率的改变将使其实绩得到提

高。这一点反过来又将降低成本和排放率。水电站地理位置的选择以及装置的类型,将仍然是重要的问题。

## 结论

GHG 由于干扰了地球大气层与外层空间之间的自然热交换过程,有可能影响全球气候的改变。《京都议定书》的签署证明,降低大气中的 GHG 浓度已经成为一个需要优先处理的国际问题。议定书规定,在2008至2012年期间,工业化国家(附件I)承诺的排放量将比1990年的水平降低约5%。

为了达到所提出的降低目标,有多种技术方案可供实施。至于与电力生产有关的排放,近期最重要的因素或许是提高燃料循环所有阶段的能量利用效率,包括燃料的制备和运输、在电厂内燃料到电力的转化效率,以及在终端使用环节上的电力到特定能量形式的转化效率(这里未考虑此问题)。

降低在燃料开采和天然气输送时甲烷排放的策略关系重大。改用低含碳或低碳燃料,例如天然气、核能和可再生能源,在降低排放方面将起很大的作用。这些改变

利用当前的知识和经验在技术上是可行的,只要求消费者的生活方式稍有改变,且资金周转合理(天然气和核能带基荷发电,而可再生能源进入适当市场或带峰荷发电)。

本文介绍了用 FENCH 方法得到的不同燃料的 GHG 排放系数资料。这种方法试图量化电力生产“从头到尾”所有环节发生的环境排放。燃化石燃料的工艺排放系数最高,燃煤比燃天然气排放系数一般高一倍。

考虑到燃料到电力的转化工艺千差万别,可以说化石燃料发电的 GHG 排放系数比目前的太阳光伏电池系统的高一个数量级,比核能和水能高两个数量级。风能和生物质能链的 GHG 排放估计值在太阳能和核能相应值之间。

任何一种工艺,只要与能量供应和使用相联系,不管它是电力生产、运输还是其他,就不可能没有 GHG 排放问题。这个重要结论怎么强调也不过分。然而,对于不同的方案,排放系数可能有十分显著的变化。这一事实肯定会影响选择何种电厂进入今后国家能源系统的决策过程。 □

## 京都的灵活机制与核电

# 重新考虑各种解决方案

HANS-HOLGER ROGNER

在 1997 年 12 月一些国家通过的《京都议定书》的一个主要目标是减少温室气体的排放。但这一目标并不容易实现,因为议定书中设想的排放量的减小将涉及大多数工业化国家内能源生产和使用的大幅度重组。议定书规定,这些国家(称为附件 I 缔约国)“必须单独或联合保证其人为温室气体的二氧化碳当量排放量不超过其分配量,以便在 2008—2012 年承诺期内使其总排放量比 1990 年水平至少下降 5.2%”(见第 27 页方框)。

自 1992 年签署《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)以来,各国政府一直在努力确定能够同时满足国内政治要求和全球环境管理工作需要的政策。电力生产可能成为主要政策目标之一。一方面,电力生产约占全球二氧化碳排放量的 1/3。另一方面,这是一个厂商和排放源点相对较少的领域,其中排放源点比数百万个交通工具的尾气排放管容易监

管和控制。

化石燃料(煤、石油和天然气)为全球提供约 63% 的电力,并且这一比例在电力消费巨大的发展中国家更高,在中国和印度都超过 80%。截至 1998 年,每年由于燃烧化石燃料所产生的碳(C)的排放量接近 6.5 吉吨(Gt)。尽管历史上这些排放大部分来自工业化国家,但发展中国家的碳排放增长迅速,1990 年至 1998 年增长了 32%。

这一增长很大程度上是由电力供应部门的快速发展造成的,预计未来它将超过附件 I 国家的增长。国际能源机构(IEA)所做的预测显示,2000 年至 2020 年全球增长的 1380 GW 净容量中,约 770 GW 将产生于发展中国家。就燃料结构而言,化石燃料将超过 75%(煤: 348 GW;天然气: 210 GW;石油产品: 49 GW;核: 30 GW;水电: 124 GW;和其他可再生能源: 9 GW)。正是在这种预计发展中国家(或非附件 I

国家)温室气体(GHG)排放量快速增长的环境下,促使了一些附件 I 国家要求“发展中国家有意义的参与”。

此外,经验已经显示,允许经济代理人进行交易,即买卖国家 GHG 排放减少单位(ERU)或排放许可,能够实质性降低满足减少总体排放减少目标的费用。议定书虽然在第 17 条预见到这种交易,但明确规定取得的许可必须对国内行动有补充作用。排放量交易意味着如果一缔约方想要排放多于指配排放量的温室气体,就必须从其他缔约方获得相应量的排放许可,从而迫使出售方将其国内排放量减至所要求的目标以下。鉴于这条补充条件,缔约各方只能购买其减少的排放量的一部分,而排放量上限尚未规定。显然,排放量交易仅限于那些受到排放量限制的缔约国。

Rogner 先生是 IAEA 核动力司规划与经济研究科科长。

尽管排放量交易为实现减少排放的承诺带来了灵活性,但它并未造成“发展中国家的有意义参与”。此外,非附件 I 国家极力抵制实施费用高昂的 GHG 缓解措施的想法,因为这些措施将从其他重要的开发项目中抽取难得的财政资源,从而成为它们实现经济发展愿望的障碍。

### 京都的清洁发展机制

由联合实施(JI)概念发展而来的清洁发展机制(CDM),是在 1997 年京都会议的最后时刻提出的。CDM 是这样一种手段:它使发展中国家能够追求经济发展,并且有机会为达到减少温室气体排放量的目的而使用额外的资源。

更准确地说,《京都议定书》第 12 条所规定的 CDM 是一种涉及发展中国家的新型合作机制,其明确的目的:帮助这些国家实现可持续发展,并对《公约》最终目标的实现作出贡献;同时帮助工业化国家实现其根据第 3 条的规定作出的有关排放量限制和减少的承诺。

CDM(和 JI)的理论基础源于这个事实:GHG 缓解费用在不同地区之间有很大差别,而其对气候稳定性的影响却与排放或排放缓解的地理位置无关。因此,从经济

效率考虑,应在能以最低的费用实现最大的缓解效果的地方减少 GHG 排放。一般来说,拥有陈旧或低效能源工厂和设备的地区的排放缓解费用要低于现代化高效生产和使用能源,且能源需求处于半停滞状态的地区。

在这些机制下,如果减少的 GHG 排放的碳当量每吨折合美元的具体缓解费低于国内缓解费用,一个属于附件 I 缔约国的寻求最低缓解费用解决方案的 GHG 排放企业,则可能会在发展中国家或经济可能处于转型期的别的附件 I 国家投资。接受国以比用其他方式更低的成本获得现代技术,同时投资企业得到了可用来冲抵其国内排放承诺的经证实的 GHG 排放信贷(CER)。

用来管理这一机制(CDM)及其实施(JI)的规则和规章,正在由 FCCC 各缔约方协商。尽管到 2000 年底之前它们的准确性质很可能不能确定,但几项原则是明确的:

■ **附加性** CDM/JI 项目必须构成一种在其他情况下,例如出于费用或资本可利用性的原因不能由东道国提供的投资。这要求确定和/或明确规定一个可供 CDM/JI 项目比照的基线项目。排放量的减少对那些在 CDM/JI 项目不存在时将发生的任

何排放量减少而言,必须是附加的。

■ **现实性** 该项目必须产生可以测量的、实际且长期的 GHG 排放减少的效益。减少的排放量必须是实现了的、可解释的、可监测的和可核实的。

■ **可持续性** 该项目必须有助于接受国的可持续发展。

在这些机制下,一个附件 I 缔约国可能会投资于一个国家内的清洁技术项目。这个项目虽然可能是不能独立承担的,但产生的 GHG 排放要少于使用其能够负担的技术产生的排放。在发电领域,对于大部分非附件 I 国家基线技术可能是效率低至中等的燃煤发电,其污染控制技术通常低于目前工艺,污染物排放水平较高。核动力或风力发电厂将有资格成为候选技术,因为尽管资本成本较高,但它们的 GHG 和其他污染物排放可以忽略不计。具有高转化率和排放控制的燃煤电厂也可符合标准。其他的缓解方案有,用天然气电厂替代燃煤或在整个能源系统内进行节能改进。

附件 I 国家发起者,比方说一个被要求承担控制国内排放责任的电力公司,现在必须评估与所选国内 GHG 缓解解决方案相关的 CER/ERU 值和费用。如果

## 《京都议定书》一览

1997年通过的《联合国气候变化框架公约京都议定书》为工业化国家在2008—2012年期间减少其温室气体排放规定了各自具有法律约束力的目标,总计至少要比1990年的水平减少5%。

这些国家(称为附件I缔约国)各自的目标在议定书附件B中一

列出。减少排放的义务可概括如下:西欧国家比1990年排放水平减少8%,但冰岛和挪威例外,可以分别达到1990年排放水平的110%和101%。欧盟国家之间可以出现不同的排放减少水平,但其总排放量要比1990年水平降低8%。

东欧国家基本上负有同西欧国家同样的责任,但下列国家例外:克罗地亚维持在基本参照年水平的95%,匈牙利和波兰维持在94%。这一地区国家的基本参照年不必是1990年,而可以是较晚的年份,例如1995年。允许俄罗斯联邦和乌克兰维持1990年的排放水平。日本和加拿大同意比1990年排放水平降低6%。美国同意比1990年水平降低7%;澳大利亚可比1990年水平增加8%;新西兰可至多保持1990年排放水平。

规定的排放减少涉及6种主要的温室气体,即二氧化碳( $\text{CO}_2$ )、甲烷( $\text{CH}_4$ )、一氧化二氮( $\text{N}_2\text{O}$ )、含氢氟烃(HFC)、全氟化碳(PFC)和六氟化硫( $\text{SF}_6$ ),以及土地使用改变和林业部门的一些有利于减少大气中二氧化碳含量的活动(碳“汇”)。

该议定书还确立了3项创新性机制,即联合实施(JI)、排放量交易和清洁发展机制(CDM),其目的是帮助附件I缔约国



降低满足其减少排放目标的费用。JI是一项合作机制,是来自接受排放量限制和减少承诺已被量化并且边际温室气体缓解费用明显不同的国家(附件I缔约国)的两个或两个以上的伙伴建立的合作关系。附件I中的任何一方都可以向另一方转让或从其获得从旨在达到下述目的的项目中产生

的排放减少单位:减少任何经济部门中源的温室气体人为排放,加强碳汇对温室气体的排除。CDM还致力于促进发展中国家的可持续发展。

虽然在该议定书中原则上商定了这些所谓的“灵活机制”,但现在必须制定出具体操作细节。此外,各缔约国还必须制订议定书中概述的框架执行体系,并且要在有关土地使用变化和林业部门、报告责任、发展中国家对气候变化和缓解费用的脆弱性的条款上做进一步的工作。在1998年的缔约国第4次大会(CoP-4)上,各缔约国同意了一项到2000年CoP-6最终完成这些细节的工作计划(“布宜诺斯艾利斯行动计划”)。

1998年3月16日至1999年3月15日,《京都议定书》开放供签署。在此期间84个国家签署了该议定书,表明它们接受议定书文本和批准的意向。

若《议定书》生效,必须得到《公约》55个缔约国批准,包括附件I缔约国中其二氧化碳排放占该组1990年水平55%的缔约国。尽管有一些国家批准,但还有许多国家正在等待CoP-6就该议定书操作细节磋商的结果。很多缔约国希望该议定书能在2002年《公约》签署10周年之际生效。

清洁发展机制(CDM)范例研究说明性数据

特性	单位	基线燃煤	CDM 燃煤	CDM 核能	CDM 风能	CDM 天然气
<b>技术</b>						
电厂寿期	yr	25	25	25	15	25
净容量	MWe	600	600	935	12	450
负荷因子	%	75	75	80	40	80
净效率	%(LHV*)	33.8	47.5	33	1	55
脱硫(SO <sub>2</sub> )	%	0	90	—	—	—
氮氧化物(NO <sub>x</sub> )	%	0	80	—	—	—
颗粒	%	99.5	99.5	—	—	—
<b>经济性</b>						
投资成本**	US \$ /kWe	1090	1661	2432	998	836
本地化	%	100	30	15	15	10
实际贴现率	%	10	10	10	10	10
固定运行与维护成本	US \$ /kWe/yr	21.1	43.9	37.9	27.8	23.71
可变运行与维护成本	US \$ /MWh	—	—	—	—	—
燃料成本	\$/GJ	1.70	1.70	0.72	0	3.9
<b>排放与废物</b>						
灰	g/kWh	57.9	41.4	—	—	—
脱硫渣	g/kWh	—	20.5	—	—	—
高放废物	kg/MWh	—	—	×	×	—
重金属	gHM/kWh	0.038	0.027	—	—	—
二氧化硫 SO <sub>2</sub>	g/kWh	9.09	0.65	—	—	0.15
氮氧化物 NO <sub>x</sub>	g/kWh	3.01	0.61	—	—	1.13
一氧化碳 CO	g/kWh	1.08	0.77	—	—	0.45
甲烷	g/kWh	—	—	—	—	0.03
一氧化二氮 N <sub>2</sub> O	g/kWh	0.02	0.02	—	—	0.018
颗粒	g/kWh	0.2	0.14	—	—	0.045
二氧化碳 CO <sub>2</sub>	g C/kWh	321	230	—	—	99
<b>GHG 总排放量</b>	<b>g C/kWh 当量</b>	<b>327</b>	<b>236</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>106</b>

\* 低热值。 \*\* 投资成本包括建造期内的利息。来源:IAEA

CDM/JI 项目提供较低的缓解费用,该电力公司就可能选择支付 CDM/JI 和基线项目之间的投资或发电成本差来补足避免的排放量的 CER/ERU。该 CER/ERU 因而可用来抵付该电力公司缓解责任。

尽管如此,议定书认为,为满足根据第 3 条所做承诺而适用的灵活机制必须是对国内缓解排放行动的补充。这就是说,各国国内排放减少的义务只有一部分可用花钱的办法来履行(允许的量还必须由 FCCC 各方协商确

定)。

### CDM 解决方案的范例研究

通过对一个假设的一般个案研究可以阐明 CDM/JI 项目的评价过程。出发点是一个典型的燃煤电厂,即非附件 I 缔约国的最低成本容量增量解决方案;换句话说,就是基线项目。参照这个基线项目,一个先进的燃煤电厂、标准的可供商用核电厂、风能电厂和现代复合循环燃气轮机(CCGT)被提出作为 CDM/JI 解决方案。

评价过程中需要实施下列步骤:

- 确定基线技术;即在照常营业情况下要选择的技术(不考虑气候变化);
- 计算基线电厂的发电成本和 GHG 排放量;
- 选取 CDM/JI 解决方案;
- 评价每一种 CDM/JI 解决方案的增量投资需求和平均电力生产成本;
- 确定每一种 CDM/JI 解决方案相对于基线,可避免的 GHG 排放量;和
- 在投资成本和平均发

## 温室气体缓解费用的一般比较

单位	基线燃煤	CDM 燃煤	CDM 核能	CDM 风能	CDM 天然气	
<b>基于投资成本差异</b>						
电站资本成本总额	百万美元	654	997	2274	12	376
就容量和可利用性方面的差异修正后	百万美元	1087	1657	2274	1866	782
CDM 投资	百万美元	—	569	1187	1087	-305
GHG 排放	百万吨碳/年	2.14	1.55	0	0	0.69
避免的 GHG 排放	百万吨碳/年	—	0.60	2.14	2.14	1.45
仅基于平均资本成本的缓解费用	美元/吨碳当量	—	101	57	48	-25
<b>基于平均发电成本差异</b>						
总发电成本	美密尔/千瓦时	39.60	46.39	49.25	45.38	42.93
总 GHG 排放	克碳/千瓦时当量	327	236	0	0	106
GHG 排放	百万吨碳/年	1.290	0.931	0	0	0.333
减少的 GHG	克碳/千瓦时当量	—	91	327	327	221
避免的 GHG 排放	百万吨碳/年	—	0.359	1.290	1.290	0.956
缓解费用	美元/吨碳当量	—	74.6	29.5	17.7—77.0	15.1

注: CDM=清洁发展机制; GHG=温室气体。来源: IAEA

电总成本的基础之上,确定每一种 CDM/JI 解决方案的比缓解排放的成本。

**基于投资成本的 GHG 缓解** 根据个案研究中使用的数据,针对不同容量和利用率,修正了包括基线技术在内的各种 CDM/JI 解决方案的总投资需求(见表)。

对 GHG 排放量的评价显示,所有的 CDM/JI 解决方案都将带来实际的、可测量的且长期的 GHG 排放好处。除了 CCGT,其他所有 CDM/JI 解决方案在其财政补充性、GHG 效益及其对可持续发展的支持(影响空气质量和区域酸化的污染物排放较低)方面都合格。CCGT 解决方案是 GHG 缓解费用为负值的最低成本方案,即它而非燃煤电厂应当是事实

上的基线技术。缓解费用(避免的 \$/tC 当量)对先进燃煤方案为 101 US \$/tC,对核电方案为 57 US \$/tC,对风能方案为 48 US \$/tC。尽管如此,这种计算仅考虑了资本成本,忽略了运行与维护以及燃料成本,这些成本能够占总发电成本的相当大的部分。

**基于总发电成本的 GHG 缓解** 平均发电成本由假定无燃料价格上涨的说明性数据计算得出。仅使用实际的电厂数据,即没有对不同的电厂容量和可利用性因子进行校正。所有 CDM/JI 解决方案的发电成本,都高于基线技术的 39.60 美密尔每千瓦时。

**燃煤 CDM 解决方案** 先进的燃煤电厂每年排放约

93.1 万吨的碳,相对于基线燃煤电厂每年可避免 35.9 万吨的碳排放。该 CDM/JI 项目寿期内可避免的总排放量约为 900 万吨碳,避免碳排放的费用为 74.6 US \$/tC。换句话说,该项目将产生价值为 85 US \$/tC 的 CER/ERU。

**核 CDM 解决方案** 核电厂的 GHG 排放因子为零,使 CDM/JI 核电厂较之于基线燃煤电厂每年可避免约 129 万吨碳的排放。该 CDM/JI 项目寿期内可避免总计 3200 万吨碳的排放。避免碳排放的费用或 CER/ERU 的值为 29.5 US \$/tC。

**风能 CDM 解决方案** 同核电厂一样,风能解决方案的排放因子也为零,较之

于基线燃煤电厂每年可避免约 129 万吨碳的排放。该 CDM/JI 项目寿期内可避免总计 1920 万吨碳的排放。根据基线燃煤电厂和风能解决方案的每千瓦时发电费用的差别,避免碳排放的费用或 CER/ERU 的值为 17.7 US \$ /tC。

尽管如此,由于其可利用性不连贯的特性,风能解决方案并不能真正取代燃煤基荷装机容量。因此,缓解费用计算必须仅使用被取代的燃煤电力的燃料成本和可变成本,而不是完全的发电成本差别。这样做就使风能解决方案的 CER/ERU 值增加至 77 US \$ /tC。

#### 天然气 CDM 解决方案

CCGT 电厂每年排放约 33.3 万吨碳,较之于基线燃煤电厂每年可避免约 95.6 万吨碳的排放。该 CDM/JI 项目寿期内可避免总计 2390 万吨碳的排放。所避免的碳排放的费用或 CER/ERU 值为 15.1 US \$ /tC。尽管如此,这个范例假定存在天然气供应基础设施,而在发展中国家一般并不如此。因此,尽管这个天然气 CDM 项目的经济性如此诱人,但并不适合于没有这些基础设施的地区。仅是将这种基础设施的开发费用计算在内本身就可作为一个 CDM 项目。

附件 I 发起者,譬如说一个电力公司,现在必须用国内 GHG 缓解解决方案和费用评估这些 CER/ERU 值。如果 CDM/JI 项目提供更低的缓解费用,该电力公司可能会选择支付 CDM/JI 和基线项目之间的投资或发电成本差,作为对所避免的排放量的 CER/ERU 的回报。于是,这些 CER/ERU 可用来抵付该电力公司的缓解排放承诺。

根据竞争的 CDM/JI 或其他地方的贸易项目的经济实绩和市场份额,CER/ERU 的市场价值可能高于或低于本范例中计算出的碳缓解费用。此外,为主办者和投资者之间的排放信贷的分配要经过协商。其他可以协商的因素包括项目期限、基线动态问题、不履行责任的处罚等,这些都可能导致天平朝有利于或有损于 CDM/JI 项目的生命力的方向倾斜。带给非附录 I 国家伙伴的经济利益包括更低的技术费用、有时(如在先进的燃煤、核电和风能解决方案中)更低的燃料费用、技术、资本转移和专门技术转让,以及更低的当地和区域污染物排放。

在这种一般个案研究中,所有的解决方案都符合补充性标准。它们虽然反映了不是在纯粹的经济驱动的决策环境中作出的投资决

定,但都论证了明显的和长期的 GHG 效益。此外,所有的项目都将通过减少当地空气污染物并产生其他健康和环境效益为可持续发展作出贡献。

#### 对解决方案的重新思考

今年 11 月,缔约国第 6 次会议(CoP-6)将继续协商这些灵活机制的规则和规章。前几次 CoP 都避开对核能作用的正式辩论。核电是否将被列入清洁的和可持续的技术之内,我们仍要拭目以待。由于气候变化的潜在危险,和极少的能在短期内大幅缓解 GHG 排放且技术上与经济上可行的措施,核电作用需要重新予以考虑。至少不应当对那些希望将核电纳入其可持续发展计划中的国家强加额外的限制。

核能够在附录 I 国家间产生成本效益显著且可交易的排放信贷。不允许发展中国家实行与 CDM/JI 提供的类似解决方案,是高度歧视性的和没有国际法依据的作法。

CDM 加强了发展中国家在满足自身经济发展需求的同时,能够在解决限制未来二氧化碳和其他温室气体排放问题方面起到关键作用。以排放信贷为交换为发展中国家的核电项目提供财政支持,将产生双赢的效果。 □

# 气候变化的驱动因素

## 核能与最新 IPCC 排放情景

VLADIMIR KAGRAMANIAN, SERGUEI KONONOV 和 HANS-HOLGER ROGNER

**世**界在下一个 100 年将如何发展，这是一个带有许多不确定性的谜。但是，分析家们可以通过评估供选择的发展途径和各种各样的驱动因素，勾画出一幅未来的图画——实际上是根据他们所作的种种假设得出的一些图画。

几十年来，科学和研究界将相当多的注意力投入在研究与气候变化有关的各种问题，模拟这种变化未来可能的发展、影响，以及减少潜在效应的途径。这些研究十分复杂，涉及对不同领域内的社会、经济和技术发展的评估。

2000 年初，政府间气候变化小组 (IPCC) 核准了有关直至 2100 年期间的《排放情景专题报告》(SRES)。该报告载有用 6 种计算机模型模拟出的有关世界及其主要地区的 40 种情景，大部分以主要温室气体 (GHG) 以及二氧化硫为焦点。设计这些情景旨在为评估气候变化及

其影响提供依据 (见第 32 与 33 页方框)。

这些新的情景是关于气候变化的“非干预”情景——即它们不考虑旨在减少温室气体排放的措施。不过，考虑了有关其他环境因素的政策，例如，发展中国家减硫技术的发展，该技术能够使全球二氧化硫排放低于以往 IPCC 的评估值。

本文简要介绍最新的 IPCC 排放情景，密切审视核能的预计作用，以便能够为核发展提供一个宝贵的长期展望。这种展望特别有益，因为可能的“核未来”是在未考虑与气候变化特别有关因素的情景下模拟的。相反，这些情景着重考虑了不同能源供应方案之间的技术和经济竞争性，这些能源供应方案是确定能源系统中燃料成分比例的关键驱动力。

### 情景的基本特点

SRES 中所含的 40 种情景被分成 4 组 (称“情景系

列”)：A1 (17 种情景)；A2 (6 种情景)；B1 (9 种情景)；和 B2 (8 种情景)。每种情景系列都按一套定性的导则 (称“角本”) 拟订。选定一个代表性情景 (称“标志情景”或“标志”) 作为每个脚本的例证。不过，这并不意味着所选定的情景发生的可能性比别的情景更大 (见第 32 页方框)。

### 核份额和能源成分比例

SRES 用一种动态方法处理能源资源和工艺技术问题——换句话说，工艺技术的进步为相应的资源基数的扩大提供了更多机会。

4 种标志情景的一次能源成份比例，显示了下述情况：

■ 到 2100 年，一次能源将有大幅度增加——在 B1 情景中增涨了 40%，而在 A1

Kagramanian 先生和 Kononov 先生是 IAEA 核能司规划与经济研究科职员，Rogner 先生是该科科长。

## IPCC 排放情景

10年前,世界气象组织和联合国环境规划署建立的政府间气候变化小组(IPCC)拟订了其第一批长期排放情景,以便用于分析气候变化这一复杂问题。2000年初,IPCC提出一套反映最新科学认识和知识的新情景。正如《决策者摘要》中所描述的,这些情景愿意接受各种解释,并且以已发表的研究报告和事态发展的广泛评估为基础。

未来的温室气体排放是诸多极复杂的动态系统的产物,是由人口的变化、社会经济发展,以及技术的变化等驱动因素决定的。这些因素的未来变化是非常不确定的,而且这些情景提供的是有关未来会如何发展的供选择的描绘。因此,它们是可用来分析驱动因素可能如何影响未来排放结果和评估相关的不确定性的适当工具。它们有助于进行气候变化分析,包括气候模拟,以及对影响、调整和缓解的评估。

最新的 IPCC 情景涵盖涉及温室气体和硫排放的多种主要驱动因素。每种情景都是每个脚本的具体的定量解释。每个脚本都假定未来人口、社会、经济、技术和环境有一个明显不同的发展方向。所有以同一脚本为基础的情景,构成一个情景“系列”。

利用多模型方法拟订了共 40 种情景。这些情景中有 13 种探索能源工艺技术假定中的变化。这 40 种情景中没有一种明确假定《联合国气候变化框架公约》或《京都议定书》的排放目标被达到。不过,在脚本和情景中广泛考虑了非气候变化政策对温室气体排放的影响。

■ **A1 脚本和情景系列**描述的未来世界是:经济飞速增长;全球人口于下世纪中叶达到峰值,随后下降;新的和更高效的技术很快被引入。主要主题为地区间的趋同共存;增强能力;增加文化和社会的相互作用;以及各地区之间的人均收入差别大幅度减小。A1 情景系列分为 3 部分,分别描述了能



源系统中的工艺技术变化的供选择方向。这 3 部分强调了不同的技术要点:化石燃料密集型、非化石燃料能源;或所有能源的平衡考虑。

■ **A2 脚本和情景系列**描述了一个很混杂的世界。基本主题是自力更生和地方特色的保持。各地区人口增长方式各不相同,全球人口不断增加。经济发展是地区的主要目标。人均经济增长和技术变化比在其他脚本中更缺乏连续性和更慢。

■ **B1 脚本和情景系列**描述一个趋同世界,其中全球人口虽然如在 A1 脚本中那样在下世纪中叶达到峰值和随后下降,但经济结构却向服务与信息经济方向迅速变化,材料供应紧张程度有所缓解,并且采用一些清洁和资源利用率高的技术。重点放在全球解决经济、社会和环境的可持续性办法上,包括提高平等性,但不增加影响气候变化的活动。

■ **B2 脚本和情景系列**描述一个以当地解决经济、社会和环境的可持续性办法为重点的世界。这个世界的情况是:全球人口以低于 A2 脚本的速度不断增长,经济发展保持中等水平,技术变化与 B1 和 A1 脚本相比较慢并更加多样化。虽然这种情景也注重环境保护和社会平等,但它着重于在地方一级和地区一级。

有关 IPCC 和排放情景的更多信息,可从因特网 IPCC 网页(<http://www.ipcc.ch>)获取。

## IPCC“标志”脚本和情景系列的主要特点

情景系列	系列脚本	世界人口(十亿)			人均GDP(×1000以1990年美元不变价格计算)			一次能源(人均吉焦)			CO <sub>2</sub> (吉吨碳)(年度/累积)			一次能源来源	一次能源份额		
		1990	2050	2100	1990	2050	2100	1990	2050	2100	1990	2050	2100		1996	2050	2100
A1	高经济增长,低人口增长,迅速引入新技术;随着地区差别的消失,趋同到“均一世界”,	5.3	8.7	7.1	4.0	20.8	74.9	66	138	295	7.1	16.4	13.5	化石燃料	83.4%	59.9%	30.7%
														可再生能源*	14.3%	29.9%	65.5%
														核能(1)**	2.3%	10.2%	3.7%
														核能(2)	6.5%	25.6%	10.5%
														核能,GWe***	351	~5600	~3500
A2	发展成为“非均一世界”:人口增长模式不同,人口增长快,经济发展仍是地区割裂的	5.3	11.3	15.1	3.8	7.2	16.1	59	86	114	7.1	17.4	29.1	化石燃料	83.4%	82.0%	71.9%
														可再生能源	14.3%	11.6%	14.4%
														核能(1)	2.3%	6.4%	13.6%
														核能(2)	6.5%	17.1%	32.4%
														核能,GWe	351	~2800	~10600
B1	象A1中一样的“均一世界”,但经济“非物质化”(服务和信息占主导地位);模拟以全球可持续性为重点	5.3	8.7	7.0	4.0	15.6	46.6	70	93	73	7.1	11.3	4.2	化石燃料	83.4%	69.8%	47.7%
														核能+可再生能源	16.6%	30.2%	52.3%
														核能,GWe	351	未估算	
B2	象A2中一样的“非均一世界”,但更加注意可持续性;虽然找到有关的解决办法,但与B1不同,是地区性的办法	5.3	9.4	10.4	4.0	11.7	22.6	67	93	130	7.1	11.0	13.3	化石燃料	83.4%	70.2%	50.7%
														可再生能源	14.3%	24.4%	38.8%
														核能(1)	2.3%	5.5%	10.5%
														核能(2)	6.5%	14.9%	26.1%
														核能,GWe	351	~2200	~6400

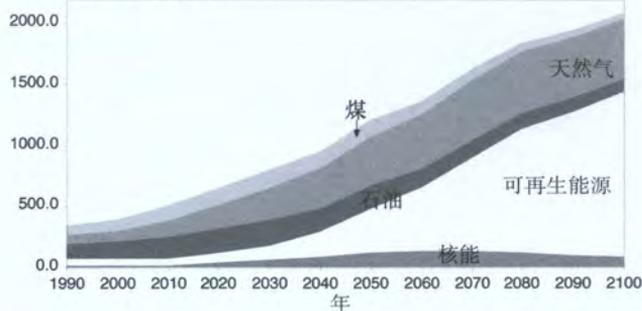
\* 可再生能源包括水力、太阳能、风能、地热能和生物能源。

\*\* 两套数据——核能(1)和核能(2)——反映了计算方法的不同。核能(1)为SRES对核能在一次能源供应中所占份额的重新计算结果。SRES通过把单位从太瓦小时转换为艾克焦耳,把核电重新计算成——次能源,结果是核份额在1996年约为2%,这与考虑核电机组的热效率计算得到的更常用的数字7%有所不同。核能(2)是用经合组织核能机构所用的方法得到的,以斜体表示以反映这些差别。

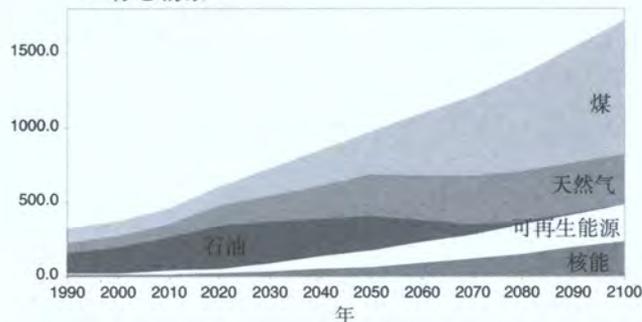
\*\*\* 容量是根据SRES的一次能源结果计算得到的: $E(\text{以艾克焦耳为单位的能量}) \times 31.71(\text{吉瓦每年的单位转换系数}) \div 0.7(\text{假定的平均容量因子})$ 。

## IPCC 标志情景中的能源供应结构 (艾焦)

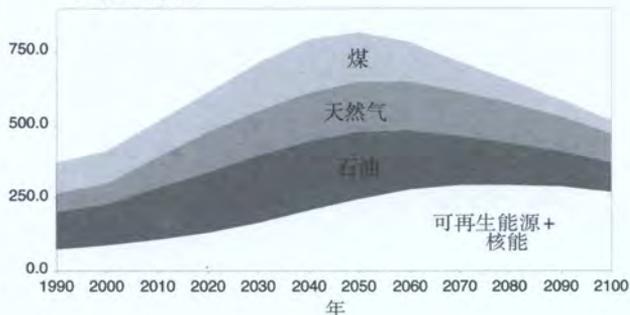
### A1标志情景



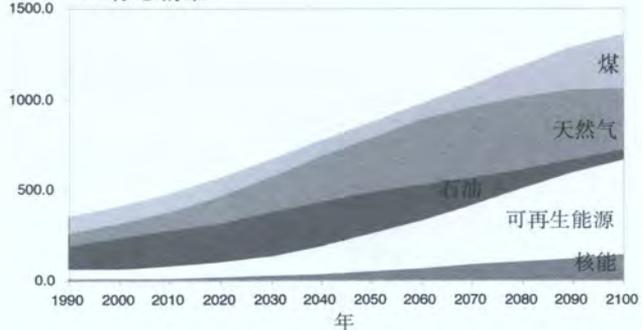
### A2标志情景



### B1标志情景



### B2标志情景



情景中增涨了5倍；

- 所有情景中化石燃料的份额都有明显的降低；

- 到2100年，可再生能源和核能的总份额将增加2—3倍；

- 在这个日益增长的非化石能源结构中，核能份额在不断发生变化。核能在一次能源中的份额可能会从目前的6%—7%增加到2100年的10%—30%，相当于3500—10600吉瓦电(GWe)的总核发电能力。

在评估这个预测情况时，重要的是要记住这些情景是依据对技术和经济发展的不同假设拟订的。这已导致下述结果：

- 在A1标志情景中，可再生能源的经济实绩好于化石燃料和核能。虽然在2050年以前核份额会有显著增加，但经济因素将导致它随后会从2050年的最大值约5500 GWe下降到2100年的3500 GWe。

- A2标志情景假定煤工艺技术的发展十分迅速，而可再生能源的发展较缓慢。核能仍具有竞争力，而且其容量将增加到10600 GWe。

- 在B1标志情景中，非化石能源的份额在2100年将达到约50%。核能和可再生能源的各自份额在这个标志情景中未被计算。可能性

范围是通过取自 B1 系列的两个极端“非标志”情况加以说明的。在这两种情景中,核份额在 2100 年各为 340 GWe 和 4200 GWe。这表明,核未来可能的变化幅度很大,这取决于对可再生能源的竞争性因素。

■ 在 B2 标志情景中,核容量在 2100 年增加到 6400 GWe。这反映预计可再生能源的发展较慢和在核能被证明有生命力的地方保持这种能源的地区发展模式。

### 情景的地区特点

SRES 将世界分为 4 个地区来进行分析,并介绍了对各地区的分析结果。这 4 个地区被标明为 OECD90 (1990 年时经合组织所有成员国)、REF(中、东欧国家和从前苏联产生的新独立国家)、ASTA(亚洲所有发展中国家)和 ALM(世界其他国家)。

情景表明,核发展在地区间甚至全球都可能不同。例如,在 A1 和 A2 情景中,对于 OECD90,预计 2100 年的核容量分别为 680 GWe 和 3300 GWe;而在 ASIA,相应的预测值为 1400 GWe 和 4100 GWe。

这表明,核发展明显地从 OECD90 转移到 ASIA,并在较小的程度上转移到 ALM。例如,A1 和 A2 两种

情景都预测,到 2050 年,ASIA 将比 OECD90 有更大的核容量。

### 情况概述

总之,新的 IPCC 排放情景表明,核能的发展情况如下:

■ 在大多数情景设想中,核能将保持其在世界能源供应中的重要地位。对于 4 种代表性情景中的 3 种而言,预计 2100 年全球核容量在 3500 GWe 到 10600 GWe 之间变化,这取决于核能如何成功地与化石燃料及可再生能源相竞争。这可与今天的约 350 GWe 核容量相比较。

■ 与此同时,一些情景表明,可再生能源方案(相对于核工艺技术)的迅速改善,也许导致核停滞或核下滑。

在这样一种情景下,总的核容量虽然在世纪中期达到峰值 5500 GWe,但到 2100 年便下降到 3500 GWe。其他一些情景表明,核容量将停滞在目前水平。这样,SRES 证实核能的长期作用是非常不确定的,尤其是因为各种能源工艺技术的预期竞争性不确定。

■ 从地区来说,预期亚洲国家将明显增加其核能应用;其他地区的核增长率较低。与目前情况相反,到

2050 年,亚洲的核容量可能比 OECD 国家多。

■ 为达到更高的核电份额,将需要对核电机组做重大技术改进,以便保持与最好的替代技术的竞争性。广泛的增长将对铀在反应堆中的利用效率以及废物管理方法提出更严格的要求。

在所拟订的大多数情景中,SRES 均假设与现有设计相比,核技术将有显著的改进(各情景程度不同)。不过,与在 SRES 中提到的非核技术相似,这些改进一般是在具体设计的解决办法未被考虑的情况下作为一些假设的成本降低措施而引入的。这种解决办法的可获得性非常重要,对待核能的积极的社会态度(SRES 中未对此进行明确地分析)也是一样。

■ SRES 的工作范围使 SRES 情景中未能包括温室气体排放的缓解政策。这类政策如被实施,也许对包括核能在内的非化石能源方案产生额外的积极影响。

总之,IPCC 研究报告表明,核能的未来发展不一定取决于对气候变化的考虑;核方案仍被看成是能源混合体中一个值得注意的部分,而不论温室气体排放缓解政策如何。这些是涵盖直到 21 世纪末时期的全面长期研究中给出的重要信息。 □

# 核电的经济竞争力 不断发展的目标

HANS-HOLGER ROGNER 和 LUCILLE LANGLOIS



目前世界大多数电力市场上的竞争日趋激烈，造成这种现象的部分原因是：技术的不断进步；燃料价格的降低以及已有的经验表明竞争的市场更具有生命力。在经合组织(OECD)成员国的许多市场上，电力价格约为0.02美元/千瓦时。核电价格能达到这个水平吗？如果不能，有办法使它达到这个水平吗？

目前，电力公司的责任是出售商品(kWh)和商业服务而不是战略利益。在较大的工业化国家中，生产能力过剩、需求增长缓慢和产品价格较低，迫使电力生产商和它们的供应商更加关注它们的运行成本和投资的盈利能力。如果这些公司想生存下去并保持繁荣，它们就越

来越需要执行商业化的、以利润为导向的方针。而且，在以后的几年中，它们必须大幅度降低成本。核工业也不例外。

核动力在这种环境中的处境如何？IAEA规划与经济研究科正在对这些问题进行一系列细致的研究，并将其细分为对核动力的近期、中期和长期前途产生影响的一些议题。大致可将这些议题分为以下三类：影响已有机组的议题、影响机组的升级和延长寿命的议题，或影响新机组的议题。研究发现，从总体上看，核动力在近期、中期和远期的市场中都具有竞争潜力。但是，使这种潜力变为现实将需要对核工业及其监管部门做出重大的改变。

本文集中讨论许多工业

化国家中占优势的市场形势，其中的几条经验也可适用于发展中国家，尤其是期望从国际资本市场筹集其电力项目所需资金的国家。对发展中国家而言，其总体形势与工业化国家的差别很大。典型的情况是发展中国家的电力生产能力不足，其收入既要支付发电费用又要负担融资费用，这就给生产能力的进一步扩大带来了许多根本性的难题。因此，竞争性的价格必须反映长期的边际成本，而不是仅仅反映当前的运行费用。

## 运营中的核电厂

对已有的快要折旧完的核电厂而言，电厂的收入只需大于边际运行费用就可获利。因此，管理良好的许多核电厂目前拥有成本优势。例如，据报道，美国2/3以上电厂的电力价格低于约0.02美元/千瓦时的全国平均价格。

Rogner先生是IAEA核动力司规划与经济研究科科长，Langlois女士是该科科员。本文的所有参考资料可向作者索取。

照片：核电厂的发电量约占世界总发电量的1/6。

但随着所有电力公司平均成本的缓慢下降,核电营运者所具有的成本优势会越来越小。由于净现金流量余额会因为竞争而逐渐减少,因而,核电营运者即使为了生存也必须降低单位成本和增加净现金流量余额。

成败取决于许多因素,包括有关融资与选择技术的明智决定,和正确的需求增长估计,再有就是管好电厂,使成本得到控制,盈余增加。但是,与参与竞争的电力系统的市场价格和边际成本相比,最终对商业上的生存能力来说最重要的变量是边际成本。

核电营运者必须能在不危及安全的前提下削减单位成本,尤其是运行和维护费用,并使电厂的可利用率达到较高水平。这两个要求,对电厂管理部门的压力都很大。过去的10年中,大多数有竞争力的核电厂的可利用率已有了明显但不急剧的提高,其运行和维护费用也有明显但不急剧的削减。例如,运行费用就下降了40%。

遵守安全条例的费用一直对核电的生产成本有重大影响。电力市场的自由化刚开始,人们就注意到了竞争的压力可能会对运行安全产生不利影响。在此期间的经验表明,这种担心是不必要的。英国和美国的研究表明,最成功的商业核电厂和

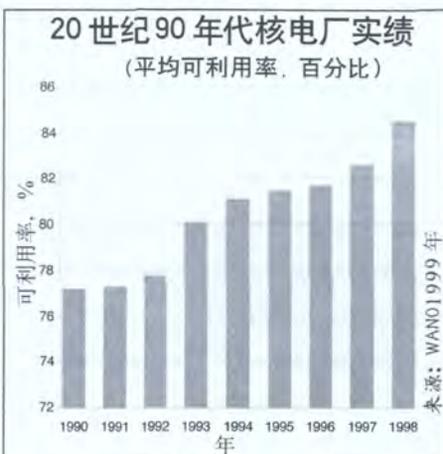
最安全的核电厂之间存在着密切的关联。在这些事例中,安全不但没有受到危及,而是成了电厂的商业要求中一个不可或缺的部分。

实际上,在如何对待核电的运行安全方面存在一种较强的商业观点:

在私有化的市场中,为了保护股东的生产性资产,经理们保证运行安全的劲头十足。安全相关事务方面的急功近利会造成商业上的巨大损失,因为核安全监管部门会迫使电厂关闭(例如1997年发生在安大略的情况),导致只出不进。另一方面,现金流量不足的电厂无法给维护、修理或必要的升级改造提供资金,无论这些活动与安全的关系如何紧密。无利可图的电厂,无论它如何安全,都会被其业主关闭。

### 未竣工的电厂和延长寿期问题

世界一大批核电机组的老龄化及延长寿期的可能性,都非常令人感兴趣。建成尚未竣工的核电机组或延长运营良好的核电机组的寿期,相对于建造新机组或使老机组退役,都是比较经济并且切实可行的选择。但在作出决定前,应客观地权衡



其利弊。有关使项目建成、给运行中的核电机组重新发放许可证或延长其寿期的决定,取决于它能否带来经济效益。最简单的经济评价是仅仅比较下列三个参数:建成费用的“净现值”(NPV)、预计该项目建成后的未来收入流的NPV(发电收入减去按公司政策折扣的成本)和关闭机组或停止施工的费用。一旦对这些数字进行了计算和比较,作出决定的基础就比较清楚了。即使该项目是由政府提供资金或要作出的是一个“防守性质”的决定(即挑选一个使经济损失最小的方案),这种做法也是对的。

**使项目建成** 比较简便的做法是假定将某项目目前的状态作为作出是否将其建成的决定的基础。因此,比起已竣工60%的电厂,往往把已竣工90%的电厂看成是更好的候选者。但是,工程方面的建成概算与残存费用之

间可能几乎没有什么联系，而这些数字对未来要作出的投资决定是十分重要的。已建成 90% 的电厂未必只有其造价 10% 的费用未付。残存的投资费用有可能比这少，但十分常见的是比这要多得多，甚至可能比电厂建成后的预期收入还要多。

需要注意的是终止一个建投项目所涉及的费用也可能很大，因为如果人为地终止某个项目，需要为大多数建造合同支付撤销费用或赔偿金。花一些钱建成项目也许比终止它更加经济。当在 NPV 的基础上判断是否应该关闭一座正在运行的核电厂时，也会发生类似的情况。关闭电厂需要许多费用，公司在赔本的情况下运行该电厂也许更好一些。

**延长寿期** 这为在近期到中期内继续和可获利地运行核电厂提供了一种现实的可能性。与建造新的电厂相比，延长寿期有几个重要的好处。

第一，延长寿期所需的投资费用尽管也不低，但总要比建造新电厂（核的或其它的电厂）的费用低，或许只是后者的一小部分。部分原因是需要支付土木工程、征用土地以及厂区准备之类的费用。另一个因素是运行费用已经比较低，否则就不考虑延长问题。该电厂已有了足够的退役基金，这就进一步减少了运行费用。再者，

考虑延长寿期的电厂通常几乎没有负债，大部分债务在电厂展期之前就已分期偿还，并且拥有能确保偿付由延长寿期所发生的债务的收入流。如果经济方面的计算结果正确，则资金来源应该不成问题。

寿期许可证展期还可能使功率提升，从而使容量得到有效增加，许多电厂已成功地使额定功率提升了 10% 以上。这样做降低了发电成本，因此很有吸引力。

出于环境方面的考虑，核电厂的延长寿期也很有吸引力。这对于为了符合大气污染标准和履行减少温室气体排放量的承诺，而不再允许增加化石燃料电厂的发电量的情况来说更具有吸引力。

在作出任何投资决定之前，应对所有可能出现的情况有所准备，以降低预期的建成费用。如果不这样做，此项投资决定就可能会出现偏差，这会使资金的筹措更加困难，也有可能发出发出的电没有销路。尤其是待竣工的项目（这种项目以前在费用控制和风险管理方面的经历可能不怎么好），必须使投资者确信能得到额外的回报，这也许会涉及到使该项目与过去的债务脱钩。合同中必须包含避免施工延期的奖励办法，并要通过存量控制、竞争性方式采购、兼顾国产与进口物项，以及确保使

用合适而最经济的产品来进行材料成本管理。

**安全升级** 无论是为了保护资产还是为了防止许可证被吊销，出于安全方面的考虑而使电厂升级对于电厂的继续运营，也许是不可缺少的。由于安全升级不会增加产出或收入，业主也许要面对投资问题，而预计这种投资是他们不能分期偿还的。如果核监管部门要根据这种升级的情况才能做出是否同意继续运行的决定，那就必须对照预期的收入和关闭电厂的费用，权衡此种投资是否值得。财务方面的 NPV 分析法将揭示出这些选择的相对经济效益。

## 新的核电厂

建造新核电厂的费用是化石燃料电厂的 2—4 倍。这还不包括影响项目的信誉等级的那些风险（例如竣工不了、汇率波动或费用超支）的费用。在 OECD 的投资规则中，已给与核电厂有关的所有 OECD 出口信贷的放款利率增加了 1% 的风险费。能够将此类风险和费用降低到或保持在足以使核电在资本市场中为新的核电厂融资进行竞争的水平吗？

随着发电成本的一再下跌，判断商业上能否成功的目标也变化很快。1995 年，在美国具有竞争力的新的核电厂的目标是 0.043 美元

不同发电选择方案的资本费用和建造时间

	每千瓦(电)装机容量费用 (美元)	1000兆瓦装机容量总费用 (10 <sup>9</sup> 美元)	建造周期 (年)	典型的机组规模 (兆瓦)	典型机组的总承包费用 (10 <sup>9</sup> 美元)
核,LWR	2100—3100	2.1—3.1	6—8	600—1750	1.5—4.2
核电,最佳的实践	1700—2100	1.7—2.1	4—6	800—1000	1.3—2.1
煤,粉状,ESP	1000—1300	1.0—1.3	3—5	400—1000	0.5—1.3
煤,FGD,ESP,SCR	1300—2500	1.3—2.5	4—5	400—1000	0.6—2.5
天然气,CCGT	450—900	0.45—0.9	1.5—3	250—750	0.2—0.6
风	900—1900	0.9—1.9	0.4	20—100	0.03—0.12

注:所有费用包括建造期间的利息。每千瓦电装机容量的费用是按10%贴现率计算的。

LWR=轻水堆,ESP=静电除尘器,FGD=烟道气脱硫,SCR=选择性催化还原,

CCGT=复合循环燃气轮机。

来源:OECD,1998年。

/千瓦时。到1998年,在政府不加干预的情况下,若要使核电厂有利可图,相应的目标不得降低至0.03美元/千瓦时以下。在电力需求(需要新的装机容量)没有实质性的增长或化石燃料价格不猛涨的情况下,2000年的平均发电成本将降至0.02美元,甚至可能会进一步下跌。发电成本的这种下降不仅是竞争的结果,而且也是燃料价格降低和燃煤或燃气电厂的热效率显著提高的结果。目前燃气电厂的热效率已达到50%以上。

OECD一项有关预期的发电成本的研究(1998年)表明,全世界新核电厂包括建造期间利息在内的基建费用为1400~2800美元/千瓦(贴现率为5%)和1700~3100美元/千瓦(贴现率为10%)。比较不同国家的此类费用时发现,贴现率为5%时,核电在6个国家中是费用最低的选择;若贴现率为

10%,则核电在2个国家中是费用最低的选择。

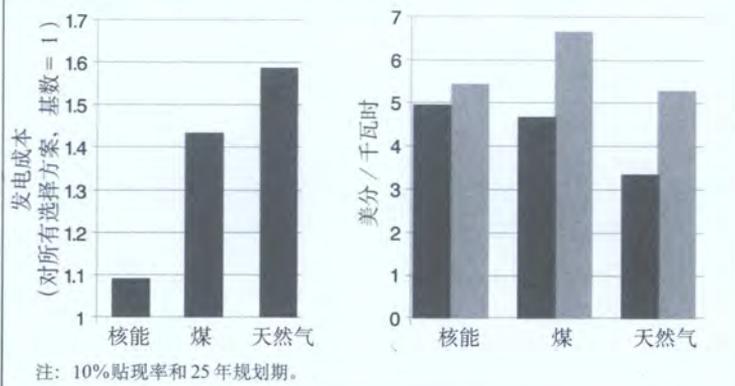
不同发电选择的成本结构不同,其敏感性也不同。由于资本费用高和建设周期长,核电成本对利率非常敏感。燃煤电厂的资本费用受减轻污染的要求的影响很大。燃气发电的成本对天然气的价格非常敏感,因为天然气的费用在总成本中所占的比例相对较高(见下页图)。如果燃料价格翻一番,核电的成本只增加不足10%,而天然气发电的成本将猛增约60%。在发电结构中拥有核电,可以减轻燃料价格和汇率的动荡对成本的影响。

在不断变化的市场环境下,还会建造新的核电厂吗?除非核工业采取重大步骤以减少新核电厂的资本费用和财务风险,否则核电将因价格过高而失去未来的市场。核电确实具有以下几个明显的优点:燃料价格低、供应可

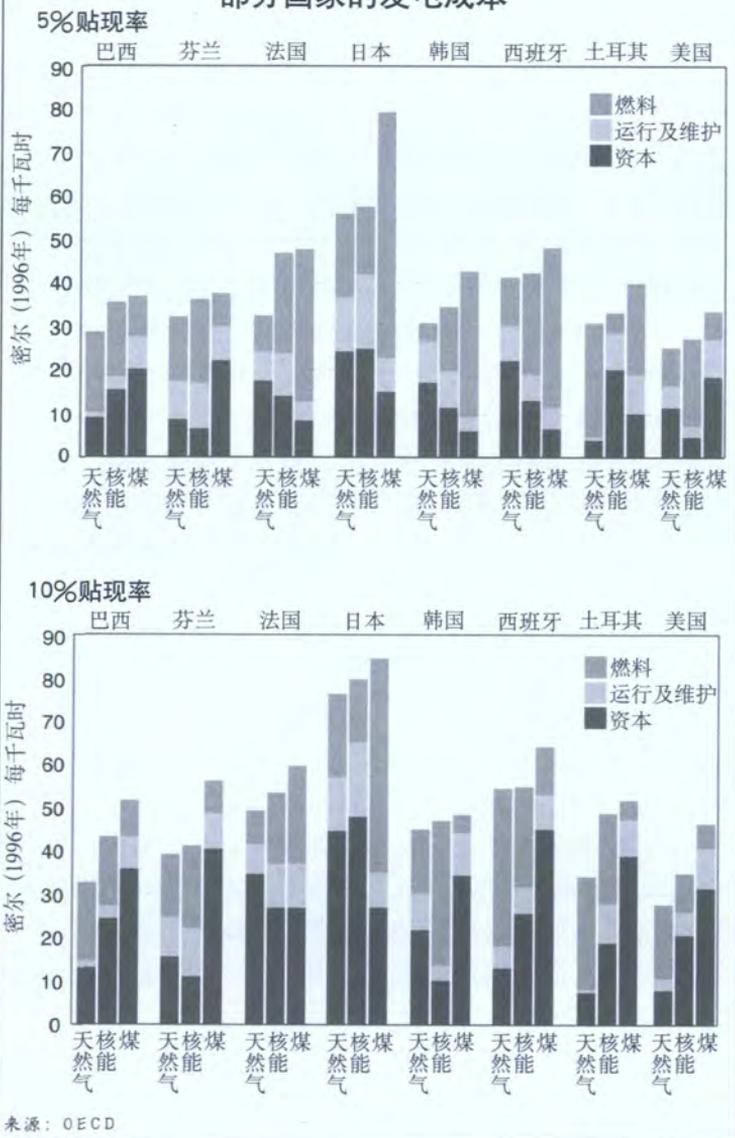
靠性高、环境影响最小、外部费用低以及如《京都议定书》中所描述那样具有明显地减少温室气体排放的潜力。尚未选定技术方案的政府,也许会因核电的这些优点而选中核方案,条件是这些优点不被较高的资本费用和发电成本以及相应的高风险所淹没。

**资本费用和 risk** 新核电机组有时可分为渐进型设计和革新型设计两类。前者涉及到为提高安全性和经济性而对现有的设计进行改进。渐进型设计的改进在本质上是基于过去的经验所做的工作的结晶。但是,渐进型设计带有某种负担,即需证明改进后的反应堆在商业上具有竞争力(例如,如果较低的单位资本费用是靠增大电厂规模获得的,这样的设计也许就没有吸引力。因为这会使总投资增加,其风险也许会极大地超出股东的承受能力)。

### 燃料价格翻番对发电成本的影响



### 部分国家的发电成本



革新型设计——即过去从未用作商用的全新设计——也许能为竞争能力的提高提供更大的潜力,这主要是因为它们是明确地针对特定的市场条件设计的。此外,它们还常常能明显地改善安全特性。

但是,除了南非在球床模块堆(PBMR)方面和美国在先进轻水堆(ALMR)方面的开发工作外,其它的开发先进反应堆的工作都还没有将建成商业上具有竞争力的反应堆作为其主要目标,这样的反应堆应该效率更高、更能获利且实绩更佳,因而其电力价格能达到甚至低于当前的市场价格。

由1979年的三里岛事故引起的开发先进反应堆设计的工作,大多把注意力集中于增强安全性,但总是增加费用。以迄今为止已建成的最昂贵的反应堆之一英国的 Sizewell-B 型反应堆为例,据估算,其资本费用的20%被用于“增强”安全性,以便使它成为“增强型”反应堆。

资本费用高是为核电厂融资和建造新核电厂的最大障碍,它约占估计的总发电成本的70%。按照目前的估计,这些费用必须降低约35%,新的核电厂才能与新的燃煤或燃气电厂进行竞争。要使这部分费用下降这么多当然需要采取一系列的

措施,其中包括削减遵守安全相关条例所需的费用及减少法规方面与运行后责任相关的不确定性。

不确定性、风险和责任都是有经济意义的,因为它们都包含一定的费用,有时甚至还很高,而这些费用都是能够设法降低或加以控制的。因此必须对这些费用进行一一估计并具体地加以说明。而对投资者而言,它们与估计的发电成本同等重要。因此,减少财务方面的不确定性与削减名义上的费用同等重要。

新的核电厂具有较高的但并不只是核电才有的财务风险。这其中包括能否建成的风险、法规和政治方面的风险以及由不断变化的市场造成的商业风险。投资者需要较高的投资回报,以补偿这种风险。核电的一个大问题是市场价格能否允许它们不但能提供这种回报,而且仍然能赢利。

**安全性的成本效益** 增强安全性是设计新核电厂时重点考虑的一个大问题,其费用是决定是否给核电厂投资的一个重要因素。因此,提高这些安全相关投资的成本效益能有助于新电厂的集资。对新的核电厂而言,尽管不能精确地求得安全费用占总费用的份额,但其所占份额不会小,有人估计高达40%—60%。

目前正在探索能减少在新反应堆的设计中用于增强安全性的费用的多种办法,其中的许多办法都包括要制订一个即使在最坏的事故情景下,厂外也不会有明显后果的标准(而不是规定许多单个的实绩要求和条例)。其它正在探索的办法包括:

- 使用非能动的安全设计;
- 减少需满足“核级”质量要求部件和材料的数量,对有些部件而言,这种要求能使采购费用增加200%;
- 安全监管部门对风险有更多的了解;和
- 监管部门只规定目标而不规定手段,允许在如何达到这一目标方面有更大的灵活性。

在过去的20年中,虽然已为核电厂制定了某些新的安全目标和安全要求,但在制订时几乎没有考虑经济性和效益,或者说几乎没有考虑能以比较和可能使成本效益更高的方式来达到预期的安全目标。这种做法受到下述情况的鼓励,当时多数核电厂是在垄断的市场中运营的,各种费用都有可能摊入电价,因而这些费用未必是人们关心的重点。但是,随着时代和市场的变化,监管部门的做法也必须随之而变,以便更清楚地规定什么样的电厂是安全的,同时,给如何达到这个目标提供灵活性。

与目前的核电厂相关的安全风险早已降到非常低的水平,但是与新建核电厂相关的财务风险却比较大,而且还在不断增加。投资者将基于费用/效益和净现值分析仔细审查新电厂和新的电厂设计。这种审查可用来找出哪些改进,会使可达到的最低成本仍然很高,或许随后获得的安全增益或与有待减少的风险本身相关的费用不相称,并可能威胁到电厂的在经济和财务方面的可行性。对于在成本意识和竞争性日益增强的市场中出售电力的公司来说,安全措施的净费用——与所有的发电费用一样——受到人们的极大关注。它对于选择核技术还是非核技术发电也是重要的。

报酬递减不是核安全所特有的,实际上在大多数环境与卫生防护标准中也存在这个问题。例如,在控制大气污染方面,除去90%—98%污染的费用也许是可忍受的,但是,去除最后2%的污染就往往得不偿失。必须毫不含糊地指出,安全相关支出的水平并不是衡量电厂安全水平的标尺。必须做到的是既要削减安全费用,同时又不损害而是增强安全性。

这种做法不是说要判断什么样的安全水平是合适的,而是说在安全领域内确实需要考虑经济后果、对所建议的安全要求进行财务分

析,以及进行费用与收益的背景分析。

**退役和废物处置的责任管理** 投资新核电厂的第二大障碍是运行后的责任,即与退役和废物处置相关的费用和风险。在这方面,需要将分析工作从工程费用概算和筹资扩大到责任管理领域。

完成这些任务所需的工程与技术都是现成的。人们已对退役和废物处置的工程计划和费用概算进行过彻底的研究,并定期更新,主要将其作为保证能留出足够资金,将其用于最终所需的退役和废物处置的基础。此外,为这些活动制定的许多标准也很好。

但是,目前的费用概算肯定会与最终发生的费用不一致,因为预测这些费用时所依据的环境肯定会有变化。这种变化的例子包括:废物处置设施的可利用性和指导它们的使用及早关闭电厂的政策;与材料释放有关的容许辐射标准和厂区条件的变化;影响电厂的运营、退役和废物处置的经济状况的监管部门政策;税收和会计规则的变化;重组、私有化或加剧的竞争。

鉴于退役和废物处置所涉及的时间较长,只要风险管理技术和应对措施到位,并且相应地灵活改变战略,公司通常是有时间去适应不

断变化的环境的。退役和废物处置能够完成,也一定能完成,这是毫无疑问的。仅有的问题的是时机、先后顺序、效率及由此产生的费用,其中的大部分都超出了核电厂的经理们所能控制的范围。选择多贵和效率多高的退役和废物处置办法,主要由政治因素决定。核电厂业主和运营者的主要选择是怎样最好地使所涉及的不确定性具体化并使其达到最小。

因此,重要的是公司准备如何应付意料之外的变化。从整体上看,核工业还没有很好地做好这方面的准备。它也没有定期地研究法规变化的经济意义。结果是,核工业和社会可能要支出巨大的经济费用和承受极低的工作效率,并且与关闭后的各种作业相关的财务风险会不受抑制地快速增长。应该将注意力集中到提高成本管理的效益和估计由不确定性和政策与法规的变化所引起的费用上。

需要的是谨慎而不是深谋远虑:需要在战略和财务方面为影响运行后责任的政治不确定性做好准备。不断地进行与公司的实际情况紧密相关的风险评估和谨慎地对能够影响公司资产或收入的情景做好财务准备,这些都是标准的公司风险管理战略。尽管有个别的例外,但核

电厂的业主和运行许可证持有者所用的此类技术并无统一的标准。

随着时间推移,如何管理风险与成本,将决定着哪些发电技术被保留或被废除、立即废除或逐步淘汰,以及选或不选作未来的电厂。高成本高风险的项目需要高回报。在竞争市场中,核工业能否提供所需的报酬,或者说能否将投资者的商业和财务风险降到可以接受的水平呢?这些都是不断发展的目标。

## 要创造条件

那么核电的前景如何呢?预计现有的高效电厂将能够茁壮成长。在核工业没有明确而有力的主动性去改变核电厂的设计要求、商业方向和监管环境的情况下,不会建造新的核电厂。

核电在环境方面确实有许多优点,尤其是在减少大气污染和温室气体排放量方面,但要确保它有一个美好的未来光靠这些是不够的。那些将核电增长的希望寄托在《京都议定书》而忽视改革的人是注定要失望的。最后一点,政策的制订者必须处理好废物的处置问题,并愿意让核工业证明核废物管理技术是成熟的。让公众理解作为一种工业过程的核废物处置是安全的,这是最最重要的。 □

# 我们需要核电

## 对世界能源远景的看法

RICHARD RHODES 和 DENIS BELLER

世界需要更多的能源。能源能提高劳动生产率并使劳动成果得到成倍地增加。人们建造校舍并给它带来光明,使水变纯,驱动农业机械、缝纫机和机器人装配工,贮存和传送信息,这些都离不开能源。世界人口正在稳步增长,1999年已超过60亿。但目前其中的三分之一——20亿人——尚未用上电。发展就需要能源,而不发展只会继续遭受贫困、疾病和死亡之苦,造成社会的不稳定,甚至引发大规模的动乱。因此,国家的安全要求发达国家帮助人口比较稠密的发展中国家增加能源产量。为保证能源供应的可靠性与生产的安全性,应该依靠多种渠道增加能源供应量。

1999年,英国皇家学会和皇家工程院在论述核能与气候变化的一篇报告中预计,“就全球而论,随着世界人口的增加和人们提高生活水准的努力,我们的能源消费量在未来50年中至少要翻一番,未来100年则可能



要增加4倍。”如果2050年今天的人均消费量的三分之一,则为了满足这一消费量,

Rhodes先生是《原子弹的制造》、《黑太阳》等书籍的作者。Beller先生是核工程师,是美国洛斯阿拉莫斯国家实验室技术人员。本文改编自两作者发表于《外交事务》(第70卷第1期,2000年1-2月号)的一篇文章,本刊发表时已征得纽约时报报业集团同意。

照片:印度尼西亚工人在维护输电线。(来源:UNDP)

即使是非常保守的估计,世界能源产量也必须增加两倍。经济合作与发展组织(OECD)的国际能源机构(IEA)预测,到2020年世界能源需求将增加65%,其中三分之二来自发展中国家。

英国皇家学会和皇家工程院提醒大家,“鉴于未来可能达到这么高的消费水平,如何能在使环境不受到不可持续的长期损害的条件下满足全球的能源需求,这确实是一项巨大的挑战。”这里所说的损害包括地表污染、空气污染和全球变暖。

### 明显的趋势

目前,世界能源主要来自石油(39%)、煤炭(24%)、天然气(22%)、水电(6.9%)和核电(6.3%)。虽然石油和煤炭目前仍占主导地位,但它们的市场份额在数十年前就已开始下降。与此同时,天然气和核电的份额一直在稳步增加,而且这种趋势会继续下去。

与反核组织的断言相反,核电既不是已经消失也不是正在消亡。法国大约75%的电力来自核电。另一些国家的比例是:比利时58%,瑞典47%,瑞士36%,日本36%,西班牙31%,联合王国29%,美国(世界最大的核电生产者)20%。大韩民国和中国已经宣布了其雄

心勃勃的扩大核电装机容量的计划——就韩国而言,它要建造16台新机组,使核电装机容量增加一倍以上。全世界目前运行中的核电机组有433台,满足着10亿多人的用电需要。

1990年以来,美国和全球的核安全水平和生产效率有了明显的提高。1998年以及1999年,正在运行的核电机组的容量因子(实际发电的机组容量与机组成装机容量之比)多次刷新记录。1999年,美国约100座反应堆的平均容量因子是85%,相比之下,1980年是58%,1990年是66%。在美国,与1998年相比,尽管1999年的核电机组数有所减少,但发电量却增加了9%。核电的平均生产成本现在只有1.9美分/千瓦时,天然气发电的生产成本则是3.4美分/千瓦时。

在美国的各工业部门中,核电仅仅依靠容量因子和运行实绩这两项的改善,就对美国实现限制排入大气的二氧化碳排放量的京都承诺作出了最大的贡献。与此同时,工作人员的辐射受照量及单位能量产生的废物量都创造了新低。

由于已经用了半个多世纪在全世界推广天然气发电与核电这两种大而复杂的工艺技术,因而在今后的一百年中,两者将共同担当起

发电部门领头羊的作用。究竟哪种技术将获得更大的份额,仍需拭目以待。它们都已开始被这两者替代的其它燃料清洁,供应来源更可靠,因而其优势应该获得人们的认同。

公正的环境学家理应欢迎这种过渡,并重新考虑他们对可再生能源的迷恋。

### 碳基能源

在诸多发电渠道中,就对环境的损害而言,煤是最厉害的。(石油是今天的主导能源,它支撑着运输业,应另作别论。)哈佛大学公共卫生系最近的研究成果表明,仅仅在美国,烧煤所产生的污染物每年约使15000人过早死亡。尽管煤给世界提供了约四分之一的一次能源,但烧煤释放的有毒废物量实在太太大,以致无法安全地加以处理。此类废物不是直接排入空气,就是被固化和倾倒。有些废物甚至被作为建筑材料。

除以气体或有毒颗粒形式排放有害化学品——二氧化硫和氮氧化物(酸雨和烟雾的组成部分)、砷、汞、镉、硒、铅、硼、铬、铜、氟、钼、镍、钒、锌、一氧化碳与二氧化碳,以及其他温室气体——外,燃煤电厂还是世界上释入环境的放射性物质的重要来源。铀和钍是遍布于地壳

之中的弱放射性元素，煤燃烧时会释放出这两种元素。

采煤时还会向外界排放放射性氦气，这些氦气是地壳中的铀衰变时产生的，平时被禁锢在地下。1000 MWe 燃煤机组释入环境的放射性，是同等规模核电机组的 100 倍。全世界由于烧煤释放的铀和钍每年约 37300 吨，其中 7300 吨来自美国。由于铀和钍是烈性核燃料，烧煤所浪费掉的潜在能量比它实际所产生的还多。

人们对烧煤时产生的放射性废物视而不见，突出说明核电所处的政治地位是何等的不利。现行法律迫使核电公司把资金投入昂贵的限制放射性释放的系统中，燃煤电厂却不必如此。在美国，因为担心有核扩散问题，核燃料并未高效地进行再循环利用。这些因素降低了发展核电的经济性，并产生了政治上难以处理的废物处置问题。如果迫使煤电公司承担同样的费用，则煤电就不再会比核电便宜。

## 可再生能源： 不断改变的现实

可再生能源——水电、太阳能、风能、地热能和生物质能——的总投资费用较高，而且有明显的环境后果（尽管一般人对此并不了解）。水电甚至不是真正的可

再生能源，因为库区最终会淤满泥沙。多数可再生能源收集的是极稀薄的能源，需要大面积的土地和众多的收集器以便使能源浓集。制造太阳能收集器、浇筑风车的混凝土底座、淹没库区的大片土地，都会引起环境的受损和污染。

用于收集太阳能的光电池都是很大的半导体；制造这些半导体会产生很毒的废金属和废溶剂，处置这些废物需要专门的技术。一座 1000 MWe 的太阳能电站，在其 30 年的寿期内，仅仅金属加工这一项就会产生 6850 吨有害废物。建造相同规模的太阳热能电站（用镜子把太阳能聚焦到中央的水塔上）所需的金属会产生 435000 吨生产废物，其中 16300 吨会受到铅和铬的污染，它们都是很有害的废物。

一个覆盖全球的太阳能系统，至少要消耗掉世上已知铁资源的 20%。建造这个系统大概需要一百年，维护这个系统又需要消耗掉全世界每年生产的大部分钢铁。制造足以覆盖 50 万平方英里地球表面的太阳能收集器及通过长距离输电系统把电力送至远方所消耗的能量，又会严重地增加全球的污染和温室气体负担。没有化石燃料或核能系统作备用的全球太阳能系统，一旦遇到

1815 年坦布拉火山喷发之类事件导致的太阳辐射下降的情况，也会是很危险的。那次喷发向大气释放了 40 立方千米的灰尘，在随后的几年中，这些灰尘使太阳辐射明显减少。在翌年的那个“没有夏季的年份”中，谷物大面积歉收。

风力发电场除了建造时需要数以百万磅计的混凝土与钢（同时也就创造了数量巨大的废料）以外，由于容量因子不高，因为是断断续续的，因而效率不高。它们还引起视觉与噪声污染，并且是鸟类的强大杀手。单单加利福尼亚的一个风力发电场每年就要杀死几百只猛禽，包括几十只金雕；被发电机叶片杀死的雕，比灾难性的埃克森瓦尔迪兹漏油事件中损失的还多。美国奥杜邦学会已经发起了一个拯救加利福尼亚秃鹰的运动，使它免遭拟建在洛杉矶北面的风力发电场之害。一座发电量和装机容量相当于 1000 MWe 化石燃料或核电厂的风力发电厂，需要安装 4000 多个大型风力发电机，占用数十万平方英里的土地，即使有高额财政补贴和不计潜在的污染费用，其发电成本也要比化石燃料高出一二倍。

虽然世界上四分之一以上的水电资源已被开发利用，但最近这些年，水电——

由于建大坝和水库需要淹没大片土地、迁移当地居民、改变河流生态环境、杀死鱼类和冒着发生灾难性塌方的危险——已经失去了环境学家们的支持,这是可以理解的。美国进出口银行拒绝给中国装机容量为 18 000 MWe 的三峡工程提供资金,部分原因就是听信了环境方面的院外游说。水力发电实际也向大气释放温室气体,而且比化石燃料发电释放的还多:淹没在水库中的植物,会在缺氧的情况下分解,释放出大量的甲烷,这是一种比二氧化碳更有害的温室气体。

再说地热能——它利用的是出现在喷泉地区或火山附近的地球内部热量——本身数量很少,而且往往位于风景区(例如美国的黄石国家公园),这些地区正是自然保护主义者极力想要保护的。

由于诸如此类的缺点,世界能源理事会和 IEA 等组织预测,水电占世界一次能源供应量的份额仍将维持目前的不超过 6.9% 的水平,而其他的所有可再生能源,即使有政府的大量补贴,它们的份额也只会从目前的 0.5% 增至 2020 年的不超过 5% 至 8%。美国在可再生能源发电方面处于世界领先地位,可它 1997 年到 1998 年的可再生能源发电量实际下

降了 9.4%:水电下降 9.2%;地热能下降 5.4%;风能下降 50.5%;太阳能下降 27.7%。

与受控热核聚变的梦想一样,尽管有领取高额补贴的和昂贵的研究开发,但世人依靠可再生能源产生的原始能源过活的空间继续在缩小。1997 年,美国给核能和煤炭的联邦研究开发投资为每兆瓦时只有 5 美分,石油 58 美分,天然气 41 美分;风力发电场则达到 4700 美元以上,光电池更是达到了 17000 美元。这么巨额的公共投资,如果不是用于可再生能源而是用于制造燃煤电厂与汽车的净化器,那该多好。

根据休斯顿能源研究所的 Robert Bradley 的研究,美国的节能项目及除水电外的其它可再生能源,20 年累计已经从纳税人那里得到了约 300—400 亿美元的投资——“这是美国历史上政府在和平时期的最大一笔能源开支。”Bradley 还估算出,“能源部用于补贴风能和太阳能的费用达到了 58 亿美元”,仅仅这笔钱就有可能“把全国 5000—10000 MWe 最肮脏的燃煤机组换成燃气复合循环机组,使这些机组的二氧化碳排放量减少三分之一到三分之二。”如果用核电置换煤电,则减少的二氧化碳排放量会更多。

尽管有大量的投资,节能和除水电外的其它可再生能源照样没有竞争力,给美国提供的能源也少得可怜。既然世上最富强的美国都负担不起这么昂贵的费用,那还有谁能负担得起呢?很显然,不可能是中国。预计中国在 2025 年时除水电外的其它可再生能源产生的能量不足其商品能源的 1%,届时煤和石油仍将占其能源供应量的大部,除非发达国家提供鼓励措施说服这个世界上人口最多的国家改变其计划。

## 各种方案的比较

与煤或油相比,天然气用作燃料有许多长处。在 21 世纪的上半叶,它在全球能源供应中的份额无疑会增加。但它的供应量有限,而且分布不均。与煤或油相比,它用作动力源时显得较贵,而且污染空气。一座 1000 MWe 的天然气电厂,每天要释放 5.5 吨二氧化硫、21 吨氮氧化物、1.6 吨一氧化碳和 0.9 吨颗粒物。在美国,1994 年利用天然气产生的能量约释放 55 亿吨废物。由天然气引起的火灾和爆炸危害也很大。一条长 1 英里、直径 3 英尺、压力为 1000 磅每平方英寸 (psi) 的天然气管道,包含三分之二千吨当量的爆炸能量;100 万英里长

的此种大管道能把地球捆起来。

核电的最大优点是它能从很少的燃料中获得巨大的能量。核裂变能把物质直接转变成能量,化学燃烧仅仅破坏化学键,前者释放出的能量是后者的几百万倍。1吨核燃料产生的能量相当于二三百万吨化石燃料产生的能量。燃烧1 kg 木柴能产生1 kWh 的电,1 kg 煤为3 kWh,1 kg 石油为4 kWh。而在现代化的轻水反应堆中,1 kg 铀能产生400000 kWh 的电;如果反复使用这批铀,则1 kg 能产生7000000 kWh 以上的电。数字方面的这种惊人差异,有助于说明核能与化石燃料在环境影响方面的巨大差别。一座1000 MWe 的电厂,每年需要2000节火车车皮的煤或10艘超级油轮的油,如果用天然铀则只需要12立方米。从化石燃料电厂(即使是安装了控制污染系统排出的是数以千吨计的有害气体、颗粒和含有重金属(与放射性)的灰尘,再加上有害的固体废物——对于煤,废物

中的硫高达500000吨,石油为300000吨,天然气为200000吨。

与之相反,一座1000 MWe 的核电厂,根本不释放有害气体或别的什么污染物\*,它所引起的人均辐射剂量比乘飞机旅行、家用烟雾报警器或电视机所引起的低得多。它产生约30吨高放废物(乏燃料)和800吨中低放废物——压实后总共约20立方米(粗略地说,相当于两辆汽车的体积)。全世界运行中的所有核电机组每年约产生3000立方米废物。可供比较的是,美国工业每年产生约5000万立方米的有毒固体废物。

高放废物当然是放射性极强的废物(低放废物的放射性有可能比煤灰的还低,而煤灰常被制成混凝土和石膏——这两者都可能成为建筑材料的一部分)。但由于高放废物体积小且并不直接释入环境,因而可以小心翼翼地用多层屏障把它隔离开来。由煤产生的废物,不管是以烟尘形式越过田野消散在空中还是被埋入近地表处,永远是有毒的。放射性核废物能不断地衰变,600年后能损失掉99%的毒性——正好在人类保护与保养的经验范围内,就像罗马万神殿和巴黎圣母院之类的构筑物所证明了的。

核废物的处置在美国是一个政治问题,因为人们普遍很害怕,其害怕程度与实际的危害很不相称。但是,正如法国、瑞典和日本的一些前瞻性质的项目所证明了的,处置核废物不存在工程方面的问题。据世界卫生组织的估计,室内和室外的空气污染每年引起约300万人死亡。用包装得很好的小量核废物代替化石燃料产生的分散的大量有毒废物,必然会极大地提高公众的健康水平。但令人感到惊讶的是,医生们一直要求不要进行此种替换。

美国现有核电厂的生产成本,早已完全可以与化石燃料电厂相竞争,虽然新核电厂的成本要高一些。但这种较高的价格有其虚假的一面。大型核电厂资本投资之所以比同等规模的燃煤或天然气电厂高,仅仅是因为要求核电公司建造与维护昂贵的、将放射性与环境隔离开的系统。

假如要求化石燃料电厂也把它们所产生的污染物隔离开,则它们的开销肯定要比核电厂高得多。欧洲联盟和IAEA已经断定,“生产同等数量的能量,由于燃煤和燃油电厂的排放物多,燃料需求量与运输量巨大,因而它们的社会费用是最高的,相应的生命损失也多。此种

\*目前,把铀精制和加工成燃料组件使用的是煤能源。煤能源当然会释放污染物。如果能使用核能作为工艺热,或如果燃料组件能被回用,则这个污染源就会被消除或大大减少。

外部费用是核电的几十倍，可以达到占发电成本的相当大部分。”在每吉瓦所引起的相应生命损失（即由于接触污染物而未活到预期寿命）中，煤每年造成 37 人死亡，石油 32 人，天然气 2 人，核 1 人。换言之，与核电相比，在保护环境和公众的健康与安全方面，化石燃料（和各种可再生能源）一直享受“免费入局”的优惠。

对于核电来说，即使估计其每年造成 1 人死亡，这个值也不一定是正确的。此种估计值是否正确取决于下面这一点是否成立：按照传统的“线性无阈值”（LNT）理论，所受到的大大低于本来就存在的天然本底的辐射量会增加致癌风险。虽然人们一直在按照 LNT 理论为与核电有关的各种作业和废物处置设计建造精致而昂贵的各种包封系统，但根本没有能证明低水平辐射受照量增加致癌风险的证据。事实上，有有力的证据表明事情并非如此。甚至还有有力的证据表明，受到低剂量放射性的照射会改善健康状况和延长寿命，这可能是免疫系统受到刺激所致，与打预防针的情况几乎一样（有关美国 90% 以上地区几十万家庭的本底氡水平的一项研究发现，肺癌发病率随着氡水平的增加而明显减小，吸烟与

非吸烟者均如此，这是非常有说服力的一项研究）。由核电引起的辐射水平这么低，再怎么说也是一种可忽略不计的风险。关于由烧煤引起的低水平辐射，煤炭地质与工程的主管部门提出的论点与上述的相同；例如，美国地质调查局的一份调查报告就得出结论，“煤和飞灰中的放射性元素不应该算作报警源。”核电的发展一直受到煤炭工业并未遇到过的那些限制的掣肘，核废物的处置也是没有必要地一拖再拖。

任何工艺技术系统都不可能不发生事故。最近在意大利和印度发生的水库漫堤和决堤，各造成数千人死亡。煤矿事故、燃油和燃气电厂着火以及管道爆炸，每起事故一般要死掉几百人。1984 年的博帕尔化工厂大事故，使大约 3000 人立即死亡，几十万人中毒。按照美国环境保护局的说法，1987 年到 1996 年之间，美国发生 60 万起意外释放有毒化学品事件，共死亡 2565 人，伤 22949 人。

相比之下，核事故的数量很少，而且是最少的。最近在日本发生的广为报道的事故，并非发生在核电厂中，而是发生在处理研究堆用燃料的设施中。它并未引起公众死亡或受伤。至于切尔诺贝利爆炸，它是在运行一座原

理上有缺陷的反应堆时由人的差错引起的，如果在西方，这种设计是不可能得到批准的。这起事故在当地引起严重的人员伤亡和环境损害，包括死亡 31 人，多半是由辐射照射引起的。在受到放射性落下灰照射的乌克兰儿童中，甲状腺癌一直在增加，这种癌本来是可以服用碘预防药防止的。已确诊的有 800 多例，预计还会有几千例；虽然这种病是可治疗的，但仍有 3 名儿童已经死亡。基于 LNT 的计算，在切尔诺贝利地区的常住居民和清理事故现场的人员中，预计会有 3420 人死于癌症。切尔诺贝利反应堆没有安全壳，在西方的反应堆中，这是一种必备的安全系统。事后的计算表明，如果有此种构筑物，就可以把这次爆炸和它所产生的放射性封住，就不会有人员伤亡了。

与迄今为止后果最为严重的这起核电事故有关的这些数字，显然要比别的工业部门中发生的大型事故低。商业核电站 40 多年的运行经历证明，从工业事故、环境损害、健康效应和长期危害的角度看，核电要比化石燃料系统安全得多。

## 重新评价再循环

核反应堆中使用的铀，多半是惰性的和不易裂变

的,不可能用于制造核武器。然而,运行中的核反应堆,能产生有可能用于制造核武器的易裂变钚,因此,核电的商业化引起了人们对扩散核武器这种风险的关注。1977年,卡特总统在列举了种种扩散风险之后,决定无限期地拖延“乏燃料”的再循环。这项决定实际上结束了美国的核燃料再循环,尽管此种再循环能减少核废物的体积和放射性毒性,并可将核燃料的供应时间延长数千年。其它国家对此类风险也进行了评估,结论不尽相同,多数国家并未跟着美国走。法国和联合王国现在就在进行乏燃料后处理;俄罗斯正在积存燃料和已分离的钚,以便帮助启动将来的快中子堆燃料循环;日本已开始在其的反应堆中使用再生的钚钚混合氧化物(MOX)燃料,最近又批准在2007年之前建成一台全部使用MOX的新核电站。

虽然理论上能将动力堆产生的钚用于制造核爆炸装置,但乏燃料很难处理,放射性很强,超出了恐怖分子的处理能力。用反应堆级钚制成的武器,放射性很强,性能不稳定,而且爆炸威力不确定。印度一直在从坎杜型重水堆中提取武器级钚,并禁止别人检查它已建成的一些两用性质的反应堆。但是,联合王国或法国的后处理设施

或燃料运输设备中的钚,从未被转用于武器生产;IAEA的检查工作有效地阻止了此种转用。IAEA已得出结论,这种扩散风险“并不是零,即使核电不再存在也不会变成零。不断地得到加强的这种不扩散制度,将仍然是防止核武器扩散的种种努力的基石。”

具有讽刺意味的是,把未经后处理提取出钚的乏燃料埋掉的这种做法,实际上还会增加核扩散的远期风险。这是因为,乏燃料中不易裂变的和放射性较强的同位素经过一至三百年的衰变,会使其中所含钚的爆炸质量改善,这样的钚对于核武器来说更有吸引力。再循环除了能使全世界的铀资源得到几乎无限制地扩大外,还可以在把钚转化成有用能量的同时,将其转变为寿命较短、不可裂变和无危险的核废物。

超级核大国花费数十亿美元生产的几百吨武器级钚,在过去十年中已成了剩余军用物资。与其将这种战略上使人头痛但在能源方面宝贵的材料掩埋掉——就像华盛顿一直建议的那样——不如将它再制成核燃料。如果有一个负责再循环和管理此种燃料的国际体系,就能防止隐蔽的扩散。就像洛斯阿拉莫斯国家实验室的Edward Arthur、Paul Cunningham和Richard Wagner所设想的那样,此种

体系将把以下因素结合在一起考虑:受到国际监测的可回取的库存、将全部已分离钚加工成供动力堆使用的MOX燃料,以及从更长远的观点来看,先进的用于处理材料的一体化反应堆。(这种反应堆能接收、管理和处理从世界各地的反应堆中卸出的所有燃料,发电和使乏燃料变成便于永久地质贮存的短寿命核废物)。

### 下一个新事物

为了使缺乏核基础设施的较小的发展中国家得益于核电,有必要设计新一代的小型模块式核电站——它应该可以与天然气机组相竞争,并且更加安全、能防止扩散和易于操作。能源部已经给这种“第四代”机组的三种设计拨了款。南非的Eskom电力公司已经宣布了销售模块式球床气冷反应堆的计划,这种堆不需要应急的堆芯冷却系统,而且其堆芯实际上是不可能“熔化”的。Eskom估计,该种反应堆生产的电力其成本约为1.5美分/千瓦时,比复合循环燃气机组的还低。麻省理工学院和爱达荷国家工程与环境实验室正在开发类似的设计,以便给生产氢和海水淡化之类的工业过程供应高温热。

目前石油主要用于运输业,但内燃机技术已经发展到极点。运输污染的进一步



减少,只有靠放弃石油和开发供小汽车与卡车使用的无污染动力系统才能实现。给电动汽车的电池充电,只不过是流动分散的污染源变成了相对集中的污染源而已,除非这种集中的电源是核电。目前正在接近商用化的燃料电池,或许是一种较好的解决办法。因为燃料电池是利用气体或液体燃料直接发电的,因此它们加注燃料的方式与目前内燃机的方法相似。当使用纯氢作燃料时,燃料电池产生的废物仅仅是水。由于氢是能够利用热或电从水中获得的,因而我们可以设想一种污染最少的能源基础结构,即将依靠核动力产生的氢用于运输、将核电和工艺热用于其它的许多应用,并将天然气和可再生系统作为备用。

让核电扮演如此重要的

照片:瑞典的福斯马克核电厂。  
(来源: Göran Hansson)

角色,不仅能使碳不断地在大气中积累的情况停止甚至最终使其逆转。在此期间,使用天然气的燃料电池有可能明显减少空气污染。

### 给未来提供动力

为了满足全世界日益增长的能源需要,英国皇家学会和皇家工程院的报告建议“成立一个从事能源的研究开发的国际团体,其经费来自各国根据 GDP 或全国的能源总消耗量提供的会费。”该团体“本身不是一个研究中心,而是一个提供经费的机构,给别处的研究、开发和示范项目提供支持。”它的预算或许可达到每年约 250 亿美元,“大体上等于全球能源总预算的 1%。”如果它真的想开发高效可靠的能源供应,则这样的团体应该把精力放在以下方面:核选择,建立可靠的国际核燃料贮存与后处理系统和给发展中国家提供用于给模块式核电系统

的选址、集资和办理许可证等方面的专门人才。

据研究能源技术动态变化的 Arnulf Gruebler、Nebojsa Nakicenovic 和 David Victor 等人称,“在全球和多数国家中,由电力供应的能源的份额正在快速增大。”纵观历史,人类一直在逐步降低主导能源中的碳比例,稳步地远离污染能力较强的富碳来源。世界就是这样从依靠煤炭(其氢碳原子比为 1,是 1880 年至 1950 年期间的主导能源)转到依靠石油(其氢碳原子比为 2,是 1950 年至今的主导能源)。天然气(其氢碳原子比为 4)正在稳步增加其市场份额。而核裂变根本不产生碳。

作出对世界的未来生死攸关的决定,应该依据物质方面的现实,而不是依据公司的贪婪、假想的风险、辐射照射,或是废物处置方面的论点。因为多样性和多重性对于安全性和可靠性来说是重要的,因此可再生能源应在下个世纪的能源经济中占有一席之地,但核电应该占据核心地位。尽管核电有极好的记录,但反而被它的反对者像流产和发育之类有争议的意识形态冲突一样迫到了昏暗的境地。它理应受到褒奖。核电是环境方面安全的、实用的和人们用得起的。它不是祸害——它是最好的解决办法之一。 □

# 核反应堆和燃料循环的未来发展

## 需要创新

D. MAJUMDAR, J. KUPITZ, H. ROGNER, T. SHEA, F. NIEHAUS 和 K. FUKUDA

随着新世纪的开始,全球发展和人口增长必然会对地球的可居住性发出挑战。尤其是,人们愈来愈迫切地意识到,必须以保护环境的方式来满足对电力和水的日益增长的需求。

50年来,核能已从一种新的科学成果发展成为30多个国家能源混合体的重要组成部分。1999年,17个国家靠核动力满足了其25%以上的电力需求。同时,又有一些国家开发和论证核能的多样化应用(例如对利用反应堆淡化海水表现出兴趣)。

在此背景下,人们理应会看到核电的上升趋势。但实际情况并非如此,而且核动力今后对满足可持续能源发展要求的贡献也是不确定的。在世界范围内,核能的发展情况参差不齐:在西欧和北美,在建的新的核电机组没有一座,而在亚洲一些国家和东欧一些地区,核动力继续增长。

情况的主要因素是对下述3个问题的担心和误解:

- 安全和保安;
- 核动力与核武器间的联系;
- 核动力及其燃料循环的环境与经济问题。

核动力要以有效方式帮助满足未来能源,这些课题就必须得到解决。实际上,核动力能否被人们视为一种未来能源方案,将取决于能否成功地解决20世纪核能推广应用中所遇到的那些问题。

每个问题都可通过在下列3个相关联的领域所做的努力来解决。

- 技术 核技术本身的特点在相当大的程度上决定着安全与保安、不扩散及环

境与经济因素的关键方面。

- 法律和体制框架 商业合同、政府法律、条例以及政府间条约和公约决定着影响核动力开发和应用的基本原则。

- 监督和管理 由核设施的业主和营运者、地方和国家政府、地区和国际组织以及有关的民间组织实施的管理,足以确保所要求的核运营监督结构到位并得到保持。

在这3个相关联的领域的每一个中,都已做出并且在继续做出各种努力。实际上,在这50年中已形成一个产业,它有效地利用核能满足了1/6的世界电力需求,这个成就是显著的。

但是世界今天面临的问题不同于过去几十年所遇到

---

Majumdar 先生是 IAEA 核能司规划和经济研究科的美国专家, Rogner 先生是该科科长。Kupitz 先生是该司核动力技术发展科科长, Fukuda 先生是该司核燃料循环材料科科长。Shea 先生是 IAEA 保障司三边倡议办公室主任。Niehaus 先生是 IAEA 核安全司安全评估科科长。

的问题,而且世界不同地区问题也有很大差别,尤其是在发展中国家极具挑战性。它们需要电力来缓解贫困和满足可持续发展的基本人类需求。为帮助那些志在推行核电方案的发展中国家,还有许多工作要做。

可用来解决每个问题固有的挑战的手段,几乎没有一个经过简单的或短时间的改进即可使用。它们都将需要相当长时间的持续努力,并且都需要协同努力,才能找出解决主要问题、消除大的担心和误解的新办法。

从世界能源状况和可持续发展需求考虑,核心目标必须是加强扩大核动力对电力供应的潜在贡献的基础。通过一些致力于技术、法律和体制框架的协调计划,以及为取得公众和政治支持所需的监督制度,此类步骤可以得到实施。

从成立到现在,IAEA一直在建立和协调国际和平利用核能的努力中起着关键作用。在当前核动力的未来发展举棋不定的情况下,机构在核动力和燃料循环领域的活动颇具重要性。本文概述在所面临的主要挑战下的全球形势,讨论在新世纪开始之时,采取对确保核动力发展必不可少的、协调的长

期行动的必要性。随着全球能源市场的扩大,核能有潜力增加其对发电的贡献,并且通过在不同领域的多种应用,增加对能源的非电力使用的贡献。

## 全球形势

核能对未来能源供应的贡献,取决于几个关键因素。世界各国对可持续能源战略的承诺程度,以及对核能在可持续战略中的作用的认知程度,将影响核能的未来使用。工艺技术的成熟性、经济竞争性、资金筹措办法,以及公众的接受程度,是影响新核电厂建造决定的另一些关键因素。公众对各种能源方案和相关环境问题的认识,以及公众宣传与教育工作,也将起重要作用。继续对现有核电厂的安全运行保持警惕,在保持核动力对未来能源战略贡献的潜力方面,是另一个非常重要的因素。

从根本上说,对核动力提出的这些挑战要求我们进行科学和技术的研究与开发,以便不仅改进现有的核反应堆和燃料循环工艺技术,而且开发能抗扩散、效率更高、成本更低和更安全的新的革新型反应堆和燃料循环。

**7个主题领域** 核动力的全球前景可按以下7个主题来描述。

**技术** 50年来,核动力技术一直在发展。20世纪60年代商用核电厂开始大量订购。70年代核电机组开始广泛商业运行。目前,核动力供应着世界约6%—7%的一次能量。运行中的核电机组大多数一直性能良好,实绩在继续提高。

不过,在几个方面一直有问题发生,在某些场合下,核电机组被过早地关闭,或是虽已建成但从未运行过。70年代建造开始达到高峰,80年代为并网发电高峰,而这两方面的目前水平都远低于先前达到的值。

目前在核动力工业范围内开展的工艺技术开发活动,可以概括为下述3大类:

■ **目前运行的商业设施** 在维护、运行、工程支持、燃料供应和寿期延长方面实施改进。

■ **渐进性设计** 为未来短期内的推广应用,实施设计和运行改进,其中包括对现正在运行的商业设施的适当改动。

■ **革新性设计** 为未来长期内的推广应用,在设计 and 运行方面,做出与现在运行中的商业设施有重大差别

的改进。

最近几年,一些国家已有了许多有关新的动力反应堆设计和燃料循环的想法。其中的一些设计虽然可以使核动力恢复活力,但是只有在鼓励其成功并产生商业硕果的条件下,对它们进行开发、尝试和试验时才会有这种效果。在核开发中,从产品设计到实际投产的时间很长。一个新的核反应堆概念的形成和试验需要15—20年,这取决于不断的政治支持和充足资源的可获得性。在一些最有希望的候选概念能够被选中并被论证而成为核动力巨大发展的手段之前,上述时间也许会更长。需要采取有力的行动,以保持和增加已获取的必要的专门知识。

**安全** 目前核安全的高水平是基于全球经验积累进行不断的改进而实现的。正如IAEA的安全丛书出版物《核装置的安全》中提到的那样,安全措施一般是基于“合理可行”的判断而引入的。一些国家使用一种正式的成本/效益分析程序来决定是否进行改进工作。在存在诸多不确定性的场合,需要做出保守的决定。鉴于目前和未来硬件性能的高水平,需要强调运行安全的管理工作。

对未来反应堆的安全目标,已有广泛的国际共识,包括工业和监管机构。安全目标已由国际核安全咨询组(INSAG)提出,并且从根本上要求未来的核动力反应堆安全性要比现有反应堆的确定目标增加9倍(即为未来核动力堆确定的目标是,堆芯损坏频率为 $10^{-5}$ 每年,大的放射性释放频率为 $10^{-6}$ 每年)。INSAG-12中称,“为未来核动力堆确定的另一个目标是,实际排除可能导致大的早期放射性释放的事故序列,而可能导致包封延迟失效的严重事故则应该在设计过程中,与一些现实假设和最佳估计分析一起考虑,以便在处理这些严重事故后果时,将只需要在范围和时间上采取有限的防护措施。”

如果没有技术上的变化,这些改进将在资本费用和运行费用两个方面增加核动力成本。因此,对于未来核动力堆的开发和论证来说,具有挑战性的任务是如何在把安全性提高到这样一个高水平的时候,降低各项费用,使其在能源市场上具有竞争力。

这当然是一个原则上不可能实现的任务。同时改进技术的运行安全性和经济性,一直是工程创造性和革

新的基本驱动因素之一。

渐进性设计是探索提高安全性的办法。这些办法在硬件方面,包括采用现代控制技术,简化安全系统,利用先进的设计和延长所需要的响应时间,以便启动安全系统和操纵员采取行动。在软件方面,这些办法有可能减少论证符合要求的负担。此外,增加的技术知识和改进的计算机编码也有助于安全运行。另一个要素是“危险通报决定”。它旨在集中精力注意重要的安全问题,可能导致在某些情况下,对一些问题的要求更严格而放松对另一些问题的要求。还正在注意简化许可证审批程序,以及提高其可预测性。

一些革新设计甚至更充分地利用了能够提高固有安全性的一些特点。尤其是,设计努力论证,先进的设计或新的设施能够排除目前反应堆所需的某些安全系统;它们不是根本不需要,就是只用来保护核电厂内的投资,而不是保护公众健康和安全。在这种场合,设备仍可安装;不过它将不需要确定安全等级,否则现在就会大大增加其成本。这样一些设计也会大大减少开发事故管理措施和为紧急情况做准备所需要的努力。

**实物保安** 为防止未经许可占有核材料和其他危险的放射性材料,防止蓄意破坏核装置,或在运输中故意扩散这类材料,需要足够的防护措施和健全的国际框架。

**乏燃料和放射性废物管理** 乏燃料和废物管理是公众时刻关注的事情。乏燃料贮存能力不足,在几个国家中成为大的问题。与此同时,由于缺乏处置设施,乏燃料将不得不在同一场地贮存较长时间。目前尚没有示范永久废物处置设施,加重了公众的担心,并且给未来的运行带来不确定性,进一步降低了公众的支持、政治意愿和财政的可行性。为核燃料循环提出的带有新的工艺技术的一些革新概念能够有助于通过减小核废物量和毒性来减轻环境负担和加强核动力的安全性、抗扩散性和成本效益。

**不扩散** 核动力与核武器之间存在潜在联系的这种可能性,不仅是国际不扩散体制的中心问题,还是IAEA保障的基础。已确信有15个国家发展了铀浓缩方法,因而虽然目前只有一个未拥有核武器的国家推行化学后处理,人们仍然担心,现在和未来的核动力运行可能助长并

且提供与获取核武器有关的重要技术。

在伊拉克和朝鲜民主主义人民共和国事件发生后,国际不扩散体制已经得到扩大和加强,其中包括缔约国愿意防止帮助潜在的扩散者获取关键技术和专门知识;供应国对于敏感材料、设施和控制;和加强了IAEA保障——尤其是在探查未申报浓缩和后处理活动的的能力方面。任何从事核武器获取计划的国家,目前在获得国际援助方面都会遇到比以往要大得多的阻碍,此类计划在成功之前就被探知的可能性明显增大,在此类计划被揭露时,国际社会采取共同的反扩散行动的可能性也会更大。

**经济性** 在发电方面解除管制和加强竞争的全球趋势——以及化石燃料价格连续走低和发达国家的基荷发电能力供应过度——不利于核动力堆增多。虽然大多数现有的核动力堆是有利可图的,但正在订购的新动力堆极少。

廉价天然气在世界许多地区的可获得性和燃气轮机技术的突破,以及煤技术的进步,已将新的核动力堆的经济吸引力局限于不易获得天然气或煤、或高度重

视能源安全的国家。

国际能源机构(IEA)和经合组织(OECD)核能机构(NEA)所进行的研究,以及在美国和IAEA所做的研究工作都表明,在今天普遍预期利润率高和相应的偿还期短的情况下,新的核动力堆在容易获得天然气或国内煤储量丰富的地区难有竞争力。高的前端资本费用,相对较长的建造时间已完全抵消了核燃料的成本优势。今天,建造一些天然气系统所需的资本费用比规模与其相当的核电站的资本费用要低得多,而且其所需的建造时间不到核电站的1/3。因此在近期内,预期核动力能力只有在缺少本地能源资源或天然气基础设施的为数不多的国家里才能得到增长。

**公众和政治接受** 虽然现有的核动力堆在可靠和安全地运行,但当安全依赖于复杂的专设系统和操作人员的技术时,人们还是有担心和误解。尽管已研究出与现有的动力堆相比其安全特性已有种种改进的渐进设计,但在许多国家里,对核动力的支持还是已经减小。为更有效地宣传正在取得的进展,并促进公众从全球能源需求、比较能源系统和发电系统运行的监管环境与技术

环境的角度理解核动力,需要做更大的努力。

## 需要创新

在较长期内,全球电力市场的条件仍是不确定的。但是包括最近世界能源理事会声明在内的很多分析,强烈支持把核动力作为一种选择保持下来(见第2页相关文章)。人口与能源需求,尤其是在发展中国家中,持续增长,与对全球气候变化现象的更多经验和理解一起,突出说明全球有必要迅速而广泛地使用非化石燃料电站来发电。

2000年3月政府间气候变化委员会(IPCC)曾批准一份《排放情景专题报告》(SRES),这份报告涉及的时间一直持续到2100年。这些情景预期,在2020年以后,对非碳能源技术有巨大需求。

据预测,核能源推广应用的前景总体来说是相当好的。这些情景虽然预计了不断变化的核份额,但它们一致表明核增长的潜力很大——从现在的350 GWe增加到2050年的2000 GWe—5000 GWe和2100年的3500 GWe—10600 GWe(见第31页相关文章)。大体上说,这些情景中给出的2050

年的容量范围相当于在2020—2050年期间,全球每年增加核电容量50 GWe—150 GWe。

从已介绍的挑战来看,仅仅基于现有的渐进技术预测核能容量将增至5—10倍是困难的。必需进行革新的研究与开发活动,以确保核动力充分参与未来的世界能源市场。要考虑下述诸项:

■ **成本** 有必要加强核在解除管制的能源市场上,尤其是在容易获得天然气和(或)有小的地方电网的地方的竞争性,以及增加核的非电力应用。

■ **基础设施适应性** 预计电力需求的未来增加的相当一部分,将会发生在不是很熟悉核动力的国家。这些国家不可能很快建立反应堆运行和前端与后端燃料循环业务所需的基础设施。同样,当地为核电机组建造和运行制定的安全审查和许可证审批要求也需要付出合理的代价才能实现。

■ **安全** 通过不断进行的研究与开发活动,未来反应堆的安全正在得到进一步加强。一个目标是实际排除能够导致大的放射性早期释放的事故序列。为了降低成本,这需要采用那些能够通过简化系统和更好利用先进

安全设计和设施来提高安全性的革新解决办法。

■ **保障** 世界核动力堆数目的大量增加和乏燃料中的钚的数量的随之增加,是IAEA保障关注的重要问题。不过,关键铀浓缩技术和钚提取技术的扩散更令人关注。

为充分保证有关当事国继续履行其不扩散承诺所需的视察费用的变化幅度变化很大,这取决于所使用的技术的性质:以一座轻水反应堆为基线,则一座不停堆动力反应堆的视察工作量约增加5倍;一座铀浓缩厂要增加10倍;一座化学后处理厂要增加100倍。

应该在反应堆设计与燃料循环安排中进行一些这样的革新:它们在使核动力得到巨大发展的同时,把接触到能够容易被用于核武器或其他核爆炸装置的核材料或获取这类材料的生产技术的可能性降至最低限度。

■ **资源可获得性** 常规铀资源也许最终变得太昂贵,不能用来保持只以传统热堆为基础的全球核动力的成倍增长。应当制订一个全面的计划,以估计和满足未来的需求。

这些就是除渐进型反应堆外,还要开发革新型反应

## 与核燃料循环有关的创新技术

所属范围	工艺方法和系统	有关国家	特 点
燃料组成和工艺方法	高温法	日本、俄罗斯、美国	与湿法相比,核废物量小且工艺设施简单(预计有若干经济和环境优势)
	振动包装燃料	俄罗斯、瑞士	来自后处理的酸性溶液直接生产燃料颗粒(预计与粉末技术相比有经济上的优点)
	DUPIC 系统	加拿大、大韩民国	不从 PWR 乏燃料中分离钚(预计有抗扩散优点)
	钍燃料(钍-铀, 钍-钚)	印度、美国	钍资源丰富。钍-铀组成燃料产生的次锕系元素(MA)比钚-铀燃料少。
	惰性基质燃料	法国、日本、瑞士	由于是化学上稳定的氧化物,乏燃料被看做废物形式(环境缓解)
分离和转变(P-T)系统	加速器驱动系统	法国、日本、美国	产生的高中子能量能够摧毁 MA,即长寿命裂变产物(LLFP)。次临界堆芯提高安全性。
	与快中子反应堆结合的 P-T 系统	日本、俄罗斯	现有快中子反应堆技术被用于摧毁 MA,即长寿命裂变产物。
反应堆系统	铅(+铋)快中子反应堆	俄罗斯	用铅做冷却剂提高了安全性。

堆设计和燃料循环的主要原因。

### 革新研究与开发活动

**革新的反应堆设计** 目前主要在发展中国家在建的核动力堆的 40%(建造中的总容量的 23%)属于小型堆(300 MWe 以下)和中型堆(700 MWe 以下)。它们吸收了现在的大型核动力堆的基本技术。较小的渐进型反应堆(例如 AP-600、VVER-640、PHWR-500 和 CANDU-6)也以现有的堆为

基础。

不过,进行革新的研究与开发活动的必要性已经为核工业界和那些相信核动力具有长期的总体优势、生命力和重要性的国家所认识。现在,有关革新的核燃料循环和反应堆概念的重大研究与开发活动正在包括阿根廷、加拿大、中国、法国、印度、意大利、日本、大韩民国、俄罗斯、南非和美国在内的许多国家中开展(见表及方框)”

已将注意力集中于开发将在不同程度上兼有下述诸

项优点的中小型反应堆上:设计相对简单;经济地大批量生产;选址费用降低;堆芯寿命长;实际上无人值守远距离操作以及接受集中维护和换料服务。俄罗斯已经论证,小型反应堆能在偏远地区为供热与发电作商业运行。美国于 1999 年开始实施一项核能研究计划,旨在开发先进的反应堆和燃料循环概念,并在核技术上取得一些科学突破,以克服核能扩大应用的障碍。

许多国家正在研究以建造时间更短和资本成本更低

### 世界范围内正在开发的中小型核反应堆

许多国家正在设计和开发小型核反应堆。它们包括：

■ **Carem-25**,正在阿根廷开发的 25 MWe 压水堆。这种堆的设计带有一个能与淡化工工艺配套使用的一体化蒸汽发生器。

■ **KLT-40**,正在俄罗斯联邦开发的 40 MWe 压水堆。这种堆的设计是把破冰船上发生电用和西伯利亚北部地区供热用的小型反应堆装在平底船上的版本。

■ **PBMR**,正在南非开发的 114 MWe 高温反应堆。由于利用具有高热容的陶瓷涂敷燃料颗粒,这种气冷球床模块堆能同时满足一次通过式燃料循环要求和提高了的安全要求。

■ **SMART**,正在大韩民国开发的 100 MWe 压水堆。这种堆的概念设计几乎是完整的,其特点是有一个为多种应用(包括海水淡化)准备的一体化蒸汽发生器。

■ **NHR-200**,正在中国开发的 200 MWt 压水堆。同样在中国,一座用于非电力应用的 10 MWt 小型高温堆,预计 2001 年实现初始临界。

■ **AHWR**,正在印度开发的 235 MWe 重水堆。这是一种将使用钍基燃料,并且带有无源冷却特点的竖管先进反应堆。

■ **GT-MHR**,由美国、俄罗斯联邦、法国和日本联合开发的 285 MWe 气冷反应堆。

的较小型反应堆为目标的革新设计。目的是研究出一种安全性更高和抗扩散的经济型设计。这些不仅仅是较老设计的缩版。用在工厂制成的结构与部件,包括为迅速安装而准备的完整模件设备进行现场建造,是此类反应堆预想的一些特点。人们还希望,这些反应堆更容易筹

集资金,并且适于甚至有中等电网的地区推广应用。

从革新的观点看,也许要提到两种先进的非水冷反应堆技术。它们是直接循环高温气冷反应堆和铅/铅-铋冷却快中子反应堆。南非开发的 114 MWe 氦冷球床式模块反应堆(PBMR)已经受到全世界注意,因为开发者

称这种堆有一些令人满意的特点(包括市场竞争性)。俄罗斯人也已为他们的铅冷快中子反应堆发表了类似的声明,尽管是在更大的程度上。

所有这些反应堆都有可能减少人们对核动力发展的一些担心。重要的是,为未来的发展和论证选择出最好的候选反应堆。

**革新的核燃料循环** 从 20 世纪 60 年代核动力开发之初起,带有增殖堆的闭式燃料循环方案,曾被认为是核能大规模推广应用的最好方案。不过,现在需要做出一些突破性的努力,以处理来源于不扩散、环境缓解、经济性和提高的安全与保安要求的若干问题。

革新的核燃料循环的令人满意的特点可以根据下列目标来确定：

- 燃料循环的经济竞争性。
- 放射性废物的最少化。
- 不扩散目的的促进,也就是使核材料不能容易地被获取或容易地被转用于非和平目的。
- 通过技术工艺过程,进一步提高安全性。

虽然目前尚未实施有关革新核燃料循环的大规模计

划,但许多有核动力计划的国家正在研究此类计划。

此外,所有这些燃料循环概念都希望至少减轻人们对核发展的一些担心。我们将有必要确保实现核动力革新的总体目标;并且最后集中精力开发能够消除人们的担心或使其减至最小的燃料循环。

虽然现在的革新研究与开发计划有着共同目的,但它们各自的方法和具体目标是不同的。其产生的结果是,反应堆和燃料循环概念多种多样。许多计划正以新的眼光来审视那些在材料与其他技术方面的改进现在已使其变得有生命力的较老概念。另一些计划正在试图引入一些革新的系统来代替较常规的系统,以实现实质性的改进。还有的计划已经决定去探索全新的方案。

目前革新的研究与开发活动实际上涵盖了所有主要的核燃料循环和动力堆类型——轻水反应堆、重水反应堆、气冷反应堆和液态金属反应堆——还在探讨其他类型的反应堆。在世界各地的创新研究与开发活动中,有约 40—50 种不同的概念正在被开发。一些概念处于初始概念设计阶段;另一些进度较快,处于基本设计阶段;

并且有几种概念正在向建造原型堆或论证堆方向发展。

在安全、废物管理、不扩散、资源消费和各种能源应用等重要领域的需求方面,也存在较广的多样性。例如,在经济学领域,虽然所有概念都力求在未来能源市场具有竞争力,但在考虑可能引入二氧化碳税和化石燃料价格上涨后,它们是否有竞争力,存在不同意见。鉴于这些不确定性,核动力界应该有志于坚持自己的权利。

在安全领域,一些人认为,今天的先进轻水反应堆对于大规模开发是足够安全的,因为它们不会对附近地区产生影响(甚至在严重事故发生后,也不会发生不可忽视的场外放射性释放)。另一些人坚持认为,只有提出不会发生重大燃料故障(有时也对模块高温反应堆提出这种要求)可能性的新型反应堆时,公众才会接受大规模的核能推广应用。

在废物管理领域,一些人认为,乏燃料直接地下处置是足够安全的方案;而且为了确保公众能够接受,只需对这种方案进行实际论证。另一些人坚持认为,用燃烧或转变的办法来消除长寿命的危险核素,对于提高公众对核能大规模推广应用的支

持很重要。至于应该消除什么危险元素,和消除到什么程度,则存在不同的看法。同样,乏燃料的可回取性也是一个问题。

在不扩散领域,一些人提出开发更依靠内在的技术性能来防止核材料的可能转用的专门抗扩散的反应堆和燃料循环概念(新的燃料类型;不提取钚的新的后处理工艺技术;新的快中子反应堆概念等)。不过,在如何度量“抗扩散”水平和我们应该把我们对技术措施的依靠增加到什么程度的问题上,研究者们还没有共识。

核科技界必须找到一种办法,以减少方案的多重性,并确定几个最有希望成功的方案。

### 需要国际合作

鉴于个别政府对研究与开发活动的支持的有限性和概念设计的多样性,将今后决定性的 10—15 年用于生产定会在市场上获得成功的实用核反应堆与燃料循环是必不可少的。尤其是,废物管理、安全或不扩散方面的过高目标,也许导致核能成本过分增加,降低核方案的竞争力。

在开发各种革新技术的

同时,根据取得的进展审议和修正商业、政府和政府间的机制是必不可少的。

这些议题对于核动力的长期复兴而言非常重要,必须尽快加以解决。在研究与开发活动方面进行国际合作与全球协调,是取得进展和就其中的一些议题达成共识的一种办法。政府研究中心,IAEA、NEA 和欧洲委员会之类的国际组织,以及核工业界之间的国际合作,通过把资源集中用于一个共同目标,能够加快进展。例如,可将下述各项任务定为这些组织的联合活动:

- 评价未来电力公司的需要和核动力在不同市场背景中的作用;

- 为新的反应堆和燃料循环技术拟订一套有关安全、保安、废物管理、不扩散和资源消耗的令人满意的指标;

- 在开发前景最好的概念方面进行国际合作。

对于确保各国将从作为一种长期可持续能源供应方

案的核动力技术中获益来说,这些活动是重要的。

**IAEA 活动** IAEA 设有在核动力开发和燃料循环的相关领域为各国提供帮助的长期计划。现在进行的努力旨在改善对活动的协调和根据机构成员国的兴趣来确定共同的目标。IAEA 的新的着重结果的计划和预算方法,会有助于把它的所有活动综合成为一个有关革新反应堆和燃料循环的计划,以更好地解决各国在能源与核动力开发方面所面临的大问题。在这个框架内,可对革新反应堆和燃料循环的全球发展进行评估。

正如在机构的中期战略中所提到的那样,努力的核心目标是支持与促进信息交流和有关核技术新的应用的开发。通过为评述与新的核动力和燃料循环技术有关的发展提供一个论坛和鼓励进行这种评述,可以实现这一目标。所评述的发展包括用于发电和供热(包括海水淡化)的中小型反应堆;与竞

争性、安全和效率有关的新技术开发;反应堆与相关燃料循环的抗扩散能力的改善;以及减少放射性废物产生量。正在考虑的活动的具体类型可作为希望开发类似设计概念的成员国的一个中心论坛。这实质上将有助于各成员国把资源与专门知识汇集于革新反应堆与燃料循环的开发中。

目前核动力正处在转折点,对其未来作用还没有达成共识。虽然它有帮助各国满足能源需求的可靠行动纪录——而且在可持续能源发展框架内,在发电方面,它要强于其他方案的各种优点——但如何使公众和政界更多地了解和接受核动力的潜在贡献,仍是一个重大的挑战。通过旨在加强国际核合作的新倡议和正在展开的一体化行动,IAEA 正在安排一个更具凝聚力的计划,它将更好地满足成员国在开发核动力和论证核动力方案是世界能源未来的重要组成部分方面的要求。 □

《附加议定书》现状

国家	IAEA 理事会核准日期	签署日期	生效日期
亚美尼亚	1997年9月23日	1997年9月29日	
澳大利亚	1997年9月23日	1997年9月23日	1997年12月12日
奥地利 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	
阿塞拜疆	2000年6月7日		
比利时 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	
保加利亚	1998年9月14日	1998年9月24日	
加拿大	1998年6月11日	1998年9月24日	
中国	1998年11月25日	1998年12月31日	
克罗地亚	1998年9月14日	1998年9月22日	
古巴	1999年9月20日	1999年10月15日	
塞浦路斯	1998年11月25日	1999年7月29日	
捷克共和国	1999年9月20日	1999年9月28日	
丹麦 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	
厄瓜多尔	1999年9月20日	1999年10月1日	
爱沙尼亚	2000年3月21日	2000年4月13日	
芬兰 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	
法国 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	
格鲁吉亚	1997年9月23日	1997年9月29日	
德国 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	*
加纳	1998年6月11日	1998年6月12日	临时
希腊 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	*
教廷	1998年9月14日	1998年9月24日	1998年9月24日
匈牙利	1998年11月25日	1998年11月26日	2000年4月4日
印度尼西亚	1999年9月20日	1999年9月29日	1999年9月29日
爱尔兰 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	
意大利 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	
日本	1998年11月25日	1998年12月4日	1999年12月16日
约旦	1998年3月18日	1998年7月28日	1998年7月28日
立陶宛	1997年12月8日	1998年3月11日	
卢森堡 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	
摩纳哥	1998年11月25日	1999年9月30日	1999年9月30日
纳米比亚	2000年3月21日	2000年3月22日	
荷兰 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	*
新西兰	1998年9月15日	1998年9月24日	1998年9月24日
尼日利亚	2000年6月17日		
挪威	1999年3月24日	1999年9月29日	2000年5月16日
秘鲁	1999年12月10日	2000年3月22日	
菲律宾	1997年9月23日	1997年9月30日	
波兰	1997年9月23日	1997年9月30日	2000年5月5日
葡萄牙 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	
大韩民国	1999年3月24日	1999年6月21日	
罗马尼亚	1999年6月9日	1999年6月11日	
俄罗斯联邦	2000年3月21日	2000年3月22日	
斯洛伐克	1998年9月14日	1999年9月27日	
斯洛文尼亚	1998年11月25日	1998年11月26日	
西班牙 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	*
瑞典 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	*
瑞士	2000年6月7日	2000年6月16日	
土耳其	2000年6月7日		
联合王国 <sup>1</sup>	1998年6月11日	1998年9月22日	
乌克兰	2000年6月7日		
美利坚合众国	1998年6月11日	1998年6月12日	
乌拉圭	1997年9月23日	1997年9月29日	
乌兹别克斯坦	1998年9月14日	1998年9月22日	1998年12月21日
总计	54	50	11

<sup>1</sup> 所有 15 个欧盟(EU)成员国都与欧洲原子能共同体(EURATOM)和机构缔结了《附加议定书》。

• IAEA 已收到这些国家的通知,它们已经完成其国内《附加议定书》生效要求。但是,正如在与 EU 和 EURATOM 非核武器成员国缔结的《附加议定书》中所规定的,“《附加议定书》将于 IAEA 收到各国和 EURATOM 有关其各自的生效要求已得到满足的书面通知之日生效。”

第六次《不扩散核武器条约》审议会议强调 IAEA 的作用

《不扩散核武器条约》(NPT)缔约国在 2000 年 5 月于联合国召开的第六次 NPT 审议会议结束时,通过了一份《最后文件》。

《最后文件》重申“该条约及不扩散制度所有方面的充分和有效的执行,对促进国际和平与安全具有重要作用。”

在对达成有关 NPT 的这项共识表示欢迎的同时,IAEA 总干事穆罕默德·埃勒巴拉迪特别提到:

■ NPT 缔约国认识到 IAEA 保障是核不扩散体制的支柱;并且赞成那些旨在加强保障的措施,尤其是将增强不存在未申报的核材料和核活动的信心的措施;

■ 在朝着核裁军方向前进的一系列具体步骤上取得一致,其中包括核武器国家做出的彻底消除其核武器库的明确承诺;

■ 承诺促进所有 NPT 缔约国之间的和平核合作,并提供向发展中国家传授这些技术所需财政资源;以及

■ 号召普遍加入 NPT,这对实现该条约所确立的目标是必不可少的。

埃勒巴拉迪博士还提到了 NPT 缔约国对 IAEA 及其在条约实施中的作用所投的信任票。

《最后文件》的全文及有关参考资料、背景文件和联络信息可在 IAEA “WorldAtom” 网站 [www.iaea.org](http://www.iaea.org) 中的一系列专门 NPT 主页获得。

## IAEA 大会将于 9 月 18 日召开

IAEA 大会 2000 年会议—第 44 届常会—将于 9 月 18 日在维也纳的奥地利中心召开。临时议程项目包括机构 2001 年计划和预算；加强在核、辐射和废物安全领域的国际合作的措施；加强机构的技术合作活动；加强保障体系有效性并提高其效率和《议定书范本》的适用；防止非法贩卖核材料和其它放射源的措施；在中东实施 IAEA 保障；联合国安理会有关伊拉克决议的执行情况；IAEA 与朝鲜民主主义人民共和国之间的保障协定的执行情况。



**科学论坛** 今年科学论坛的主题是“放射性废物管理：把方案变为办法”。会议包括此领域著名专家的发言、小组讨论及就一些专门课题和问题的公开讨论。课题包括全球放射性废物管理现状、国家乏燃料处置设施的开发、放射性废物管理的技术问题、放射性废物的安全处置、放射性废物的安全运输和废密封放射源的管理。论坛的主要目的是使高级政府代表注意到放射性废物管理领域内的许多重要的科学和技术问题，并增加对国际目前发展态势的了解。

像过去几年一样，大会和论坛的每日报道将在 IAEA “WorldAtom” 网站 [www.iaea.org](http://www.iaea.org) 提供。在大会召开前和召开期间，有关信息一旦获得就将在该网站公布。

## 简 讯

■ **加强了的保障** 又有 5 个国家——阿塞拜疆、尼日利亚、瑞士、土耳其和乌克兰——与 IAEA 缔结了协定，以加强机构核实核活动仅用于和平目的的能力。IAEA 总干事穆罕默德·埃勒巴拉迪向 IAEA 理事会提交了这些名为《附加议定书》的协定，以便于 6 月核准。有关签署国和批准国的最新情况见第 60 页表。

■ **核合作** 最近非洲国家通过地区和平利用核科学与技术合作协议扩展了它

们的伙伴关系。这个名为 AFRA 的协议于 2000 年 4 月被延长 5 年。截至 5 月，已有 14 个国家通知 IAEA 同意延长该协议。

■ **核淡化** 在今年早些时候于荷兰召开的世界水论坛及相关部长级会议上，介绍和展示了 IAEA 帮助成员国用核能淡化海水的活动，以及 IAEA 在同位素水文学领域内的水相关技术合作项目与活动。下届世界水论坛计划拟于 2003 年召开。有关这方面和机构的作用的更多

信息可从 IAEA “WorldAtom” 网站 [www.iaea.org](http://www.iaea.org) 获得。

■ **辐射源** 在 5 月 23 日至 6 月 16 日期间，IAEA 派出了一个专家组，对格鲁吉亚指定地区进行航空放射学调查，以找出可能对人体健康造成危害的任何废放射源或受污染地区。该专家组——是应格鲁吉亚环境部的要求派遣的——目的是对近年来发生的涉及在该国发现的近 300 个废放射源的严重事故做出响应。

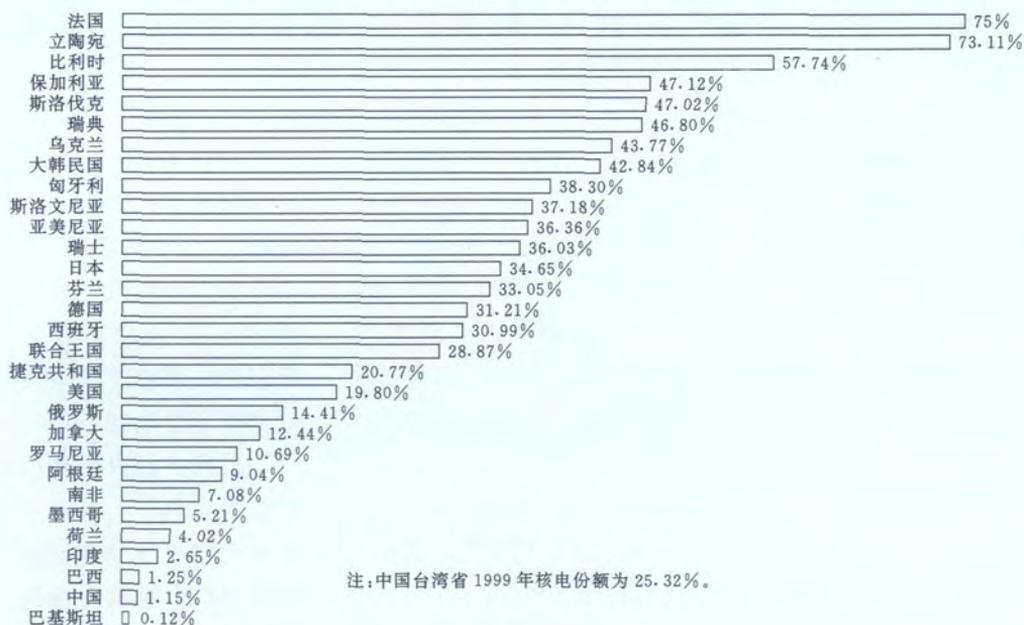
## 世界核电现状

	运行中的反应堆		建造中的反应堆	
	机组数	总净装机容量 (MWe)	机组数	总净装机容量 (MWe)
阿根廷	2	935	1	692
亚美尼亚	1	376		
比利时	7	5 712		
巴西	1	626	1	1 229
保加利亚	6	3 538		
加拿大	14	9 998		
中国	3	2 167	7	5 420
捷克共和国	4	1 648	2	1 824
芬兰	4	2 656		
法国	59	63 103		
德国	19	21 122		
匈牙利	4	1 729		
印度	11	1 897	3	606
伊朗			2	2 111
日本	53	43 691	4	4 515
大韩民国	16	12 990	4	3 820
立陶宛	2	2 370		
墨西哥	2	1 308		
荷兰	1	449		
巴基斯坦	1	125	1	300
罗马尼亚	1	650	1	650
俄罗斯联邦	29	19 843	3	3 375
南非	2	1 842		
斯洛伐克	6	2 408	2	776
斯洛文尼亚	1	632		
西班牙	9	7 470		
瑞典	11	9 432		
瑞士	5	3 079		
联合王国	35	12 968		
乌克兰	14	12 115	4	3 800
美国	104	97 145		
<b>世界总计*</b>	<b>433</b>	<b>349 063</b>	<b>37</b>	<b>31 128</b>

\* 总计中包括中国台湾省正在运行的 6 台机组,其总装机容量为 4884 MWe。两台机组正在建造中。表反映截至 2000 年 4 月向 IAEA 报告的情况。

## 核电占总发电量的份额

截至 2000 年 4 月数据



**Senior External Relations Officer,** Nuclear Technology, Inter-Agency Affairs and General Policy Co-ordination Section Office of External Relations and Policy Co-ordination, Office of the Director General (2000/033). This P-5 position will be responsible for involved in all matters falling under the responsibility of the Section, including protocol matters. The position requires an advanced university degree with a sound academic background; at least 15 years' experience in diplomatic service or international service with 5 years' experience in an international organization; knowledge of and experience in the United Nations system; aptitude and proficiency for dealing with issues of a technical nature connected with nuclear technology. Fluency in English essential. Fluency in French, Spanish or Russian desirable. Good knowledge of German an advantage.  
*Closing Date: 21 August 2000*

**Programme Management Officer,** Latin America Section, Division for Europe, Latin America and West Asia, Department of Technical Cooperation (2000/030). This P-4 position will manage the technical cooperation programme of a specific group of countries, including the planning, implementation and administration of technical cooperation activities under programmes of the IAEA and UNDP (United Nations Development Programme) for countries in the Latin America region, and will assist in directing the work of the Section. The position requires an advanced university degree related to international development, public/business administration or management; or in natural sciences or engineering with additional administration studies; at least ten years' experience in the design, implementation and evaluation of technical cooperation pro-

grammes; familiarity with information technology; familiarity with/understanding of nuclear technology; leadership skills to guide and coach others and ability to ensure the quality of programme management; ability to promote commitment in relation to effective implementation and longer term sustainability of project results; proven competence and leadership to co-ordinate others, mobilize resources and solve implementation issues; communication and negotiation skills and effectiveness as an Agency representative; proven ability to produce major reports, make presentations and advocate policy changes; knowledge of national and regional issues, conditions and technical co-operation initiatives.  
*Closing Date: 31 August 2000*

**Project Manager (for Model Project INT/4/131),** Division for Europe, Latin America and West Asia Department of Technical Cooperation (2000/801). This P-4 position will manage the planning, implementation and all other matters pertaining to the Division's projects in the area of radioactive waste management for wastes arising from the application of nuclear techniques, including the Interregional Model Project on Sustainable Technologies for Managing Radioactive Wastes in developing Member States. The position requires an advanced university degree (preferably PhD or equivalent) in a physical or chemical science or engineering; at least 15 years' experience in developing, planning, implementing and evaluating low- and intermediate-level radioactive waste projects; experience in project management and computerized data systems; knowledge of the waste management needs and technical capabilities of developing countries; demonstrated ability to work within the international commu-

nity to establish and fund projects, including interaction at both the technical and the governmental level; familiarity with IAEA technology transfer activities, policies and practices would be advantageous; excellent communication skills in dealing with the multidisciplinary aspects of the technical, field, project/programme management, and interaction in multicultural environments.

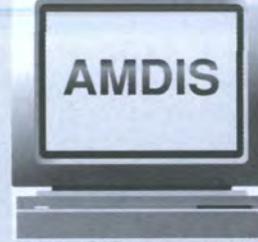
*Closing Date: 31 August 2000*

#### READER'S NOTE

The IAEA Bulletin publishes short summaries of vacancy notices as a service to readers interested in the types of professional positions required by the IAEA. They are not the official notices and remain subject to change. On a frequent basis, the IAEA sends vacancy notices to governmental bodies and organizations in the Agency's Member States (typically the foreign ministry and atomic energy authority), as well as to United Nations offices and information centres. Prospective applicants are advised to maintain contact with them. Applications are invited from suitably qualified women as well as men. *More specific information about employment opportunities at the IAEA may be obtained by writing to the Division of Personnel, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria.*

#### POST ANNOUNCEMENTS ON THE INTERNET

The IAEA's vacancy notices for professional positions, as well as sample application forms, are available through a global computerized network that can be accessed directly. Access is through the Internet. *They can be accessed through the IAEA's World Atom services on the World Wide Web at the following address: <http://www.iaea.or.at/worldatom/vacancies>. Also accessible is selected background information about employment at the IAEA and a sample application form. Please note that applications for posts cannot be forwarded through the computerized network, since they must be received in writing by the IAEA Division of Personnel, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria.*

 <p><b>INTERNATIONAL NUCLEAR INFORMATION SYSTEM (INIS)</b></p> <p><b>TYPE OF DATABASE</b> Bibliographic</p> <p><b>PRODUCER</b> International Atomic Energy Agency in co-operation with 103 IAEA Member States and 19 international organizations.</p> <p><b>IAEA CONTACT</b> IAEA, INIS Section P.O. Box 100 A-1400 Vienna, Austria Tel.: (43-1) 2600-22842 Fax: (43-1) 26007-22842 E-mail: INIS.CentreServicesUnit@iaea.org <i>More information over IAEA's internet service at</i> <a href="http://www.iaea.org/inis/inis.htm">http://www.iaea.org/inis/inis.htm</a></p> <p>To subscribe to the INIS Database on the Internet go to <a href="http://www.iaea.org/inis/inisdb.htm">http://www.iaea.org/inis/inisdb.htm</a> Demo database available cost free.</p> <p><b>NUMBER OF RECORDS ON LINE FROM JANUARY 1970 TO DATE</b> over 2 million</p> <p><b>SCOPE</b> Worldwide information on the peaceful uses of nuclear science and technology; economic and environmental aspects of other energy sources</p> <p><b>COVERAGE</b> The central areas of coverage are nuclear reactors, reactor safety, nuclear fusion, application of radiation or isotopes in medicine, agriculture, industry, and pest control. Also covered are related fields such as nuclear chemistry, nuclear physics, and material science. Special emphasis is placed on the environmental, economic and health effects of nuclear energy as well as on the economic and environmental aspects of non-nuclear energy sources. Legal and social aspects associated with nuclear energy are also covered.</p>	 <p><b>POWER REACTOR INFORMATION SYSTEM (PRIS)</b></p> <p><b>TYPE OF DATABASE</b> Factual</p> <p><b>PRODUCER</b> International Atomic Energy Agency in cooperation with 32 IAEA Member States</p> <p><b>IAEA CONTACT</b> IAEA, Nuclear Power Engineering Section P.O. Box 100 A-1400 Vienna, Austria Tel.: (43-1) 2600 Telex: (1)-12645 Fax: (43-1) 26007 E-mail: r.spiegelberg-planer@iaea.org <i>More information over IAEA's internet services at</i> <a href="http://www.iaea.org/programmes/a2/">http://www.iaea.org/programmes/a2/</a></p> <p><b>SCOPE</b> Worldwide information on power reactors in operation, under construction, planned or shutdown, and data on operating experience with nuclear power plants in IAEA Member States.</p> <p><b>COVERAGE</b> Reactor status, name, location, type, supplier, turbine generator supplier, plant owner and operator, thermal power, gross and net electrical power, date of construction start, date of first criticality, date of first synchronization to and, date of commercial operation, date of shutdown, and data on reactor core characteristics and plant systems; energy produced; planned and unplanned energy losses; energy availability and unavailability factors; operating factor and load factor.</p>	 <p><b>NUCLEAR DATA INFORMATION SYSTEM (NDIS)</b></p> <p><b>TYPE OF DATABASE</b> Numerical and bibliographic</p> <p><b>PRODUCER</b> International Atomic Energy Agency in cooperation with the United States National Nuclear Data Centre at the Brookhaven National Laboratory, the Nuclear Data Bank of the Nuclear Energy Agency, Organization for Economic Co-operation and Development in Paris, France, and a network of over 20 other nuclear data centres worldwide</p> <p><b>IAEA CONTACT</b> IAEA Nuclear Data Section, P.O. Box 100 A-1400 Vienna, Austria Tel.: (43-1) 2600 Telex (1)-12645 Fax: (43-1) 26007 E-mail: o.schwerer@iaea.org <i>More information over IAEA's internet service at</i> <a href="http://www-nds.iaea.org/">http://www-nds.iaea.org/</a></p> <p><b>SCOPE</b> Numerical nuclear physics data files describing the interaction of radiation with matter, and related bibliographic data.</p> <p><b>DATA TYPES</b> Evaluated neutron reaction data in ENDF format; experimental nuclear reaction data in EXFOR format, for reactions induced by neutrons, charged particles, or photons; nuclear half-lives and radioactive decay data in the systems NUDAT and ENSDF; related bibliographic information from the IAEA databases CINDA and NSR; various other types of data.</p> <p><i>Note: Off-line data retrievals from NDIS also may be obtained from the producer on diskettes, CD-ROMs and 4mm DAT tape cartridge.</i></p>	 <p><b>ATOMIC AND MOLECULAR DATA INFORMATION SYSTEM (AMDIS)</b></p> <p><b>TYPE OF DATABASE</b> Numerical and bibliographic</p> <p><b>PRODUCER</b> International Atomic Energy Agency in cooperation with the International Atomic and Molecular Data Centre network, a group of 16 national data centres from several countries.</p> <p><b>IAEA CONTACT</b> IAEA Atomic and Molecular Data Unit, Nuclear Data Section E-mail: j.a.stephens@iaea.org <i>More information over IAEA's internet service at</i> <a href="http://www.iaea.org/programmes/amdis">http://www.iaea.org/programmes/amdis</a></p> <p><b>SCOPE</b> Data on atomic, molecular, plasma-surface interaction, and material properties of interest to fusion research and technology</p> <p><b>COVERAGE</b> Includes ALADDIN formatted data on atomic structure and spectra (energy levels, wave lengths, and transition probabilities); electron and heavy particle collisions with atoms, ions, and molecules (cross sections and/or rate coefficients, including, in most cases, analytic fit to the data); sputtering of surfaces by impact of main plasma constituents and self sputtering; particle reflection from surfaces; thermophysical and thermomechanical properties of beryllium and pyrolytic graphites.</p> <p><i>Note: Off-line data and bibliographic retrievals, as well as ALADDIN software and manual, also may be obtained from the producer on diskettes, magnetic tape, or hard copy.</i></p>
--	---	--	---

For access to these databases, please contact the producers. Information from these databases also may be purchased from the producer in printed form. INIS additionally is available on CD-ROM. For the full range of IAEA databases, see the Agency's **WorldAtom** Internet services at <http://www.iaea.org/database/dbdir/>.

# Canberra Safeguards Systems...



## A World of Support

Safeguards requires experience, reliability, reproducibility, worldwide support and, above all, an understanding of the requirements of the various international and domestic agencies that share a common mission to control the spread of nuclear weapons. Safeguards is an application that requires a company like Canberra – a company that offers, not only the technical expertise, but also the experience and resources necessary to meet our customers' need for integrated and remote safeguards solutions.

The recent addition of the Aquila safeguards product lines of asset tracking devices, seals, and surveillance systems has increased our ability to meet the total needs of our safeguards customers.

Our commitment to nuclear safeguards is total – from portable instruments used to conduct independent verification measurements, to complex unattended safeguards measurement systems used to monitor nuclear material in the world's largest reprocessing plants – from surveillance cameras used to continuously record activities in safeguarded facilities to electronic tags and seals used to prevent undetected tampering of equipment or containers.

*For the total solution to your safeguards requirements, contact Canberra to see how...*

*Real People tackle Real Challenges and offer Real Solutions.*



Canberra Industries  
800 Research Parkway, Meriden, CT 06450 U.S.A.  
Tel: (203) 238-2351 Toll Free 1-800-243-4422  
FAX: (203) 235-1347 <http://www.canberra.com>

With Offices In: Australia, Austria, Belgium, Canada,  
Central Europe, Denmark, France, Germany, Italy,  
Netherlands, Russia, United Kingdom.

## HOW TO ORDER SALES PUBLICATIONS

IAEA publications may be purchased from the following sources, or through major local booksellers.  
Payment may be made in local currency or with UNESCO coupons.

### AUSTRALIA

Hunter Publications  
58A Gipps Street  
Collingwood, Victoria 3066  
Tel.: +61 3 9417 5361; Fax: +61 3 9419 7154  
E-mail: jpdavies@ozemail.com.au

### BELGIUM

Jean de Lannoy  
202 Avenue du Roi  
B-1060 Brussels  
Tel.: +32 2 538 4308; Fax: +32 2 538 08 41  
E-mail: jean.de.lannoy@infoboard.be  
Website: <http://www.jean-de-lannoy.be>

### BRUNEI

Contact source in Malaysia

### CHINA

IAEA Publications in Chinese:  
China Nuclear Energy Industry Corporation  
Translation Section, P.O. Box 2103, Beijing

### DENMARK

Munksgaard International Publishers  
P.O. Box 2148, DK-1016 Copenhagen K  
Tel.: +45 33 12 85 70; Fax: +45 33 12 93 87  
E-mail: subscription.service@mail.munksgaard.dk  
Website: <http://www.munksgaard.dk>

### GERMANY

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags  
Dag Hammarskjöld-Haus  
Poppelsdorfer Allee 55, D-53115 Bonn  
Tel.: +49 228 94 90 20; Fax: +49 228 21 74 92  
E-mail: unoverlag@aol.com  
Website: <http://www.uno-verlag.de>

### HUNGARY

Librotrade Ltd., Book Import  
P.O. Box 126, H-1656, Budapest  
Tel.: +36 1 257 7777; Fax: +36 1 257 7472  
E-mail: books@librotrade.hu

### ISRAEL

YOZMOT Literature Ltd.  
P.O. Box 56055, IL-61560, Tel Aviv  
Tel.: +972 3 5284851; Fax: +972 3 5285397

### ITALY

Libreria Scientifica Dott.  
Lucio di Biasio, "AEIOU",  
Via Coronelli 6, I-20146 Milan  
Tel.: +39 2 48 95 45 52; 48 95 45 62  
Fax: +39 2 48 95 45 48

### JAPAN

Maruzen Company, Ltd.  
P.O. Box 5050, 100-31 Tokyo International  
E-mail: yabe@maruzen.co.jp  
Website: <http://www.maruzen.co.jp>

### MALAYSIA

Parry's Book Center Sdn. Bhd  
60 Jalan Nagara, Taman Melawati  
53100 Kuala Lumpur, Malaysia  
Tel.: +60 3 4079176; 4079179; 4087235, 4087528  
Fax: +60 3 407 9180  
E-mail: haja@pop3.jaring.my  
Website:  
<http://www.mol.net.my/~parrybooks/parry.htm>

### NETHERLANDS

Martinus Nijhoff International  
P.O. Box 269, NL-2501 AX, The Hague  
Swets and Zeitlinger b.v.,  
P.O. Box 830, NL-2610 SZ Lisse  
Tel.: +31 793 684 400; Fax: +31 793 615 698  
E-mail: info@nijhoff.nl  
Website: <http://www.nijhoff.nl>

### POLAND

Ars Polona  
Foreign Trade Enterprise  
Krakowskie Przedmiescie 7, PL-00-068 Warsaw  
Tel.: +4822 826 1201ext 147, 151, 159  
Fax: +48 22 826 6240  
E-mail: ars\_pol@bevy.hsn.com.pl  
Website: <http://www.arspolona.com.pl>

### SINGAPORE

Parry's Book Center Pte. Ltd.  
P.O. Box 1165, Singapore 913415  
Tel.: +65 744 8673; Fax: +65 744 8676  
E-mail: haja@pop3.jaring.my  
Website:  
<http://www.mol.net.my/~parrybooks/parry.htm>

### SLOVAKIA

Alfa Press Publishers  
Hurbanovo námestie 3, SQ-815 89, Bratislava  
Tel./fax: +421 7 566 0489

### SPAIN

Díaz de Santos, Lagasca 95  
E-28006 Madrid  
Tel.: +34 1 431 24 82; Fax: + 34 1 575 55 63  
E-mail: madrid@diazdesantos.es

### Díaz de Santos

Balmes 417, E-08022 Barcelona  
Tel.: +34 3 212 8647; Fax: + 34 3 211 4991  
E-mail: balmes@diazdesantos.com  
General e-mail: librerias@diazdesantos.es  
Web site: <http://www.diazdesantos.es>

### UNITED KINGDOM

The Stationery Office, International Sales Agency  
51 Nine Elms Lane, London SW8 5DR  
Tel.: +44 171 873 9090; Fax: + 44 171 873 8463  
E-mail: Orders to: book.orders@theso.co.uk  
Enquiries to: ipa.enquiries@theso.co.uk

### UNITED STATES OF AMERICA

BERNAN ASSOCIATES  
4611-F Assembly Drive, Lanham,  
MD 20706-4391, USA  
Tel.: 1-800-274-4447 (toll free)  
Fax: (301) 459-0056; 1-800-865-3450 (toll free)  
E-mail: query@bernan.com  
Web site: <http://www.bernan.com>

### Orders and information may also be addressed to:

International Atomic Energy Agency  
Sales and Promotion Unit  
Wagramerstr. 5, P.O. Box 100  
A-1400 Vienna, Austria  
Tel.: +43 1 2600-22529, 22530  
Fax: +43 1 2600-29302  
E-mail: sales.publications@iaea.org  
Web site:  
<http://www.iaea.org/worldatom/publications>

OPERATING EXPERIENCE WITH NUCLEAR POWER  
STATIONS IN MEMBER STATES IN 1998  
ISBN-92-0103199-8 Price: ATS2350/€107.78

SAFETY REPORTS SERIES  
CALIBRATION OF RADIATION PROTECTION  
MONITORING INSTRUMENTS  
ISBN 92-0-100100-2 Price: ATS 510/€37.06

LESSONS LEARNED FROM ACCIDENTAL  
EXPOSURES IN RADIOTHERAPY  
ISBN 92-0-100200-9 Price: ATS 340/€24.71

NUCLEAR FUSION  
NUCLEAR FUSION - YOKOHAMA  
Special Issue No. 3  
STI/PUB/023/40/(Y3) Price: ATS 940/€69.77

### FORTHCOMING PUBLICATIONS

SAFETY STANDARD SERIES  
REGULATIONS FOR THE SAFE TRANSPORT OF  
NUCLEAR MATERIAL - 1996 Edition (Revised)  
(Arabic, Chinese, French, Russian and Spanish  
editions in preparation)  
ISBN 92-0-100500-8 Price: ATS 510/€37.06

SAFETY REPORTS SERIES  
INDIRECT METHODS FOR ASSESSING INTAKES OF  
RADIONUCLIDES CAUSING OCCUPATIONAL  
EXPOSURE  
ISBN 92-0-100600-4 Price: ATS 340/€24.71

TECHNICAL REPORTS SERIES  
ECONOMIC EVALUATION OF BIDS FOR NUCLEAR  
POWER PLANTS - 1999 Edition  
ISBN 92-0-100400-1 Price: ATS 710/€51.50

### PUBLICATIONS IN PRODUCTION

SAFETY OF RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT  
(Proceedings of an International Conference,  
Cordoba, Spain, 13-17 March 2000)

RESTORATION OF ENVIRONMENTS WITH  
RADIOACTIVE RESIDUES (Proceedings of an  
International Symposium, Arlington, USA,  
2 Nov.-3 Dec 1999)

REGULATIONS FOR THE SAFE TRANSPORT OF  
RADIOACTIVE MATERIAL - 1996 Edition (Revised):  
Safety Requirements

LEGAL AND GOVERNMENTAL INFRASTRUCTURE  
FOR NUCLEAR RADIATION, RADIOACTIVE WASTE  
AND TRANSPORT SAFETY: Safety Requirements

THE SAFETY OF NUCLEAR POWER PLANTS  
DESIGN: Safety Requirements

SOFTWARE FOR COMPUTER BASED SYSTEMS  
IMPORTANT TO SAFETY IN NUCLEAR POWER  
PLANTS: Safety Guide

All prices are in ATS (Austrian Schillings) or Euro  
where noted. Further information may be  
obtained from the IAEA Division of Publications  
(Email: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org))  
A comprehensive listing of sales publications is  
accessible via the Agency's *WorldAtom* Internet  
services at <http://www.iaea.org/worldatom>.

# AMSR 150 . . .

## the Future of Neutron Coincidence Counting —

# HERE and NOW



### Latest Generation of Los Alamos Advanced Multiplicity Shift Register for Advanced Neutron Measurements and Remote Monitoring Applications

- The only multiplicity shift register guaranteed to be fully compatible with the IAEA Neutron Coincidence Counting (INCC) software and with Multi-Instrument Collect
- Emulates and is backward compatible with JSR-11 and JSR-12 shift registers
- Developed by Los Alamos for the IAEA under an IAEA SP-1 agreement
- Local and remote operating modes
- “Smart” network connectivity (automated setup and operation by computer)
- Local data storage provides buffer against network failure
- Built-in processor for authentication, encryption, local real-time analysis, and event triggering
- Full multiplicity electronics provides neutron totals, doubles, and triples distributions
- Provides all necessary voltages for neutron coincidence/multiplicity counters
- Extensive connectivity:
  - Serial-port interface
  - PCMCIA interface
  - Flash memory storage cards
  - External trigger signals for other sensors such as cameras
  - Ethernet (network interface cards)
  - Two auxiliary scalars

### The AMSR 150 is available NOW from both ANTECH and EG&G ORTEC.

**ANTECH**



**EG&G ORTEC** HOTLINE 800-251-9750

**USA**  
(303) 430-8184

**USA**  
(423) 482-4411

**AUSTRIA**  
(01) 91422510

**UK**  
(01189) 773003

**JAPAN**  
(047) 3927888

**RUSSIA**  
(095) 9379504

**UK**  
(01491) 824444

**CANADA**  
(800) 268-2735

**FRANCE**  
04.76.90.70.45

**ITALY**  
(02) 27003636

**GERMANY**  
(07081) 1770

**PRC**  
(010) 65544525

## IAEA 协调研究计划

### 感染显像用锝-99m 放射性药盒的开发

感染仍是世界各地人们患病和死亡的主要原因,闪烁显像能够潜在地有助于诊断一些用别的办法难以诊断的疾病。放射性药物(这种药物能够有选择地集中在感染处)的可获得性,是进行显像的重要条件。可用于感染显像的放射性药物数目有限,并且在价格、可获得性或性能方面存在许多缺点。尤其是,开发用锝-99m(锝-99m 是显像中最常用的同位素)标记的新的和改进的感染显像试剂,仍然是科学研究与开发中值得做的工作。该协调研究计划的目的是,开发一些基于单克隆抗体及其片段和肽的专门感染显像试剂。

### 水化学和腐蚀控制用数据处理技术和诊断方法(DAWAC)

燃料棒包壳和一回路部件材料的腐蚀多年来一直是水冷核动力反应堆,尤其是在高能耗和热功率下运行的动力堆所面临的严重问题。作为一种响应,机构从1981年以来就一直在实施一系列旨在增加对包壳腐蚀过程的理解(CCI,1981-1986)、改进水冷却剂技术(WACOLIN,1987-1991)和在核动力堆中开发与使用先进的在线水化学和腐蚀监测技术/传感器(WACOL,1995-2000)的协调研究计划。不过,WACOL 协调研究计划已经证实,只有在利用数据采集与评价软件收集了传感器信号和其他化学与运行数据 and 对其连续分析的条件下,才能从以实时方式使用在线传感器中获取全部的好处。已有一些商用动力堆上安装数据采集系统和智能水化学诊断系统。

### 高温气冷反应堆(HTGR)技术的保持和应用

该协调研究计划将为对高温反应堆(HTR)的发展有重要意义的有限专题领域确定研究需要,并交流有关技术进展的信息。在这些专题领域内,该协调研究计划将利用电子信息交流、数据采集和存档方法,为 HTGR 专门知识的保持和进行国际合作建立集中化的协调功能。

这是两份精选的清单,可能会有变动。有关 IAEA 会议更完整的资料,可向 IAEA 维也纳总部会议服务科索取,或参阅 IAEA 新闻处编写的 IAEA 期刊 *Meetings on Atomic Energy*, 或访问 IAEA 因特网网站《世界原子》(<http://www.iaea.org>)。有关 IAEA 协调研究计划的更多资料,可向 IAEA 总部的研究合同管理科索取。这些计划旨在促进有关各种领域的科学和技术研究课题的全球合作,其范围从辐射在医学、农业和工业中的应用到核动力技术及核安全。



## IAEA 学术会议 和研讨会

8月

外交官核科学技术研讨会,  
奥地利,维也纳(8月30-31日)

9月/10月

IAEA 第44届大会,  
奥地利,维也纳(9月18-22日)

国际铀生产循环与环境学术会议,  
奥地利,维也纳(10月2-6日)

第18届 IAEA 聚变能会议,  
意大利,索伦托(2000年10月4-10日)

国际一体化植物、养分、水和土壤  
管理中的核技术学术会议,  
奥地利,维也纳(10月16-20日)

11月

国际新兴工业应用中的辐射技术  
学术会议,  
中国,北京(11月6-10日)

用于防止和探查核与放射性材料  
的未经许可使用系统的实施情况  
研讨会,  
奥地利,维也纳(11月13-17日)

12月

辐射源安全与放射性材料保安国  
家监管机构国际会议,  
阿根廷,布宜诺斯艾利斯(12月11-15日)

### 2001年的拟订会议

2001年3月

国际患者辐射防护会议,  
西班牙,马拉加(3月26-30日)

2001年4月

国际使用同位素技术研究环境变  
化会议,  
奥地利,维也纳(4月19-23日)

2001年8月/9月

国际营养与发展计划中营养状况  
监测的同位素手段学术会议,  
奥地利,维也纳(8月27-31日)

IAEA 第45届大会,  
奥地利,维也纳(9月17-21日)

所有信息可能有变动。见左  
方框。

## 国际原子能机构

### 通报

国际原子能机构季刊

本刊出版单位是国际原子能机构新闻处。

通讯: P.O. Box 100, A-1400 Vienna,

Austria; 电话: (43-1) 2600-21270;

传真: (43-1) 26007;

E-mail: official.mail@iaea.org

总干事: Mohamed Elbaradei 博士

副总干事: David Waller 先生, Bruno

Pellaud 先生, Victor Mourovog 先生,

Sueo Machi 先生, Jihui Qian 先生,

Zygmund Domaratzki 先生

新闻处处长: David Kyd 先生

主编: Lothar H. Wedekind 先生

编辑助理: Ritu Kenn 女士

版式/设计: Ritu Kenn女士, S. Brodek先生,  
维也纳

供稿人: A. Schiffmann女士, R. Spiegelberg  
女士, Melanie Konz-Klingsbögel女士

印刷发行: P. Witzig先生, R. Kelleher先生,

D. Schroder 先生, R. Breitenecker 女士,

P. Murray 女士, M. Liakhova 女士,

M. Swoboda 女士, W. Kreutzer 先生,

A. Adler 先生, R. Luttenfeldner先生,

L. Nimetzki 先生

#### 英文版以外的语文版

翻译协助: 原子能机构语文处

法文版: Yvon Prigent先生, 翻译, 出版编  
辑

西班牙文版: 古巴哈瓦那的笔译口译服务

社(ESTI), 翻译; L. Herrero 先生, 编辑

中文版: 北京的中国原子能工业公司翻译

部; 翻译、印刷和发行。

俄文版: 国际交流协会, 莫斯科; 翻译、

印刷和发行。

#### 广告

广告信件请寄: IAEA Division of  
Publications, Sales and Promotion Unit, P.O.  
Box 100, A-1400 Vienna, Austria. 电话号  
码、传真号码和电子邮件地址同上。

《国际原子能机构通报》免费分发给  
一定数量的对国际原子能机构及和平利用  
核能感兴趣的读者。书面请求应函致编辑。

《国际原子能机构通报》所载国际原子能  
机构资料, 在别处可自由引用, 但引用时  
必须注明出处。作者不是国际原子能机构  
工作人员的文章, 未经作者或原组织许可  
不得翻印, 用于评论目的者除外。《国际  
原子能机构通报》中任何署名文章或广告  
表达的观点, 不一定代表国际原子能机构  
的观点, 机构不对它们承担责任。

## 国际原子能机构

### 成员国

1957年  
阿富汗  
阿尔巴尼亚  
阿根廷  
澳大利亚  
奥地利  
白俄罗斯  
巴西  
保加利亚  
加拿大  
古巴  
丹麦  
多米尼加共和国

埃及  
萨尔瓦多  
埃塞俄比亚  
法国  
德国  
希腊  
危地马拉  
海地  
教廷  
匈牙利  
冰岛  
印度  
印度尼西亚  
以色列  
意大利  
日本  
大韩民国  
摩纳哥  
摩洛哥  
缅甸  
荷兰  
新西兰  
挪威

巴基斯坦  
巴拉圭  
秘鲁  
波兰  
葡萄牙  
罗马尼亚  
俄罗斯联邦  
南非  
西班牙  
斯里兰卡  
瑞典  
瑞士

泰国  
突尼斯  
土耳其  
乌克兰  
大不列颠及北爱尔兰  
联合国  
美利坚合众国  
委内瑞拉  
越南  
南斯拉夫

1958年  
比利时  
柬埔寨  
厄瓜多尔  
芬兰  
伊朗伊斯兰共和国  
卢森堡  
墨西哥  
菲律宾  
苏丹

1959年  
伊拉克

1960年  
智利  
哥伦比亚  
加纳  
塞内加尔

1961年  
黎巴嫩  
马里  
刚果民主共和国

1962年  
利比里亚  
沙特阿拉伯

1963年  
阿尔及利亚  
玻利维亚  
科特迪瓦  
阿拉伯利比亚民众国  
阿拉伯叙利亚共和国  
乌拉圭

1964年  
喀麦隆  
加蓬  
科威特  
尼日利亚

1965年  
哥斯达黎加  
塞浦路斯  
牙买加  
肯尼亚  
马达加斯加

1966年  
约旦  
巴拿马

1967年  
塞拉利昂  
新加坡  
乌干达

1968年  
列支敦士登

1969年  
马来西亚  
尼日尔  
赞比亚

1970年  
爱尔兰

1972年  
孟加拉国

1973年  
蒙古

1974年  
毛里求斯

1976年  
卡塔尔  
阿拉伯联合酋长国  
坦桑尼亚联合共和国

1977年  
尼加拉瓜

1983年  
纳米比亚

1984年  
中国

1986年  
津巴布韦

1992年  
爱沙尼亚  
斯洛文尼亚

1993年  
亚美尼亚  
克罗地亚  
立陶宛  
捷克共和国  
斯洛伐克

1994年  
前南斯拉夫马其顿共  
和国  
哈萨克斯坦  
马绍尔群岛  
乌兹别克斯坦  
也门

1995年  
波斯尼亚和黑塞哥维那

1996年  
格鲁吉亚

1997年  
拉脱维亚  
马耳他  
摩尔多瓦共和国

1998年  
贝宁  
布基纳法索

1999年  
安哥拉 \*  
洪都拉斯 \*

国际原子能机构《规约》的生效, 需要有18份批准书。1957年7月29日前批准《规约》的国家(包括前捷克斯洛伐克)用黑体字表示。年份表示成为机构成员国的时间。国家名称不一定是其当时的称谓。标有星号(\*)的国家的成员国资格已经国际原子能机构大会核准, 一旦交存了所需的法律文书即生效。



国际原子能机构成立于1957年7月29日, 是联合国系统内一个独立的政府间组织。其总部设在奥地利维也纳, 现有131个成员国。这些成员国共同工作, 以实现国际原子能机构《规约》的主要宗旨: 加速和扩大原子能对全世界和平、健康及繁荣的贡献, 并尽其所能确保由其本身、或经其要求、或在其监督或管制下提供的援助不致用于推进任何军事目的。

维也纳国际中心的国际原子能机构总部

Until now, one of the biggest problems with reading personal exposure doses has been the size of the monitoring equipment. Which is precisely why we're introducing the Electronic Pocket Dosimeter (EPD) "MY DOSE mini™" PDM-Series.

These high-performance

dosimeters combine an easy-to-read digital display with a wide measuring range suiting a wide range of needs.

But the big news is how very small and lightweight they've become. Able to fit into any pocket and weighing just 50~90 grams,

the Aloka EPDs can go anywhere you go. Which may prove to be quite a sizable improvement, indeed.

SCIENCE AND HUMANITY

# ALOKA

ALOKA CO., LTD.

6-22-1 Mure, Mitaka-shi, Tokyo 181, Japan

Telephone: (0422) 45-5111

Facsimile: (0422) 45-4058

Telex: 02822-344

To: 3rd Export Section  
Overseas Marketing Dept.

Attn: N. Odaka

Model	Energy	Range	Application
PDM-101	60 keV ~	0.01 ~ 99.99 $\mu$ Sv	High sensitivity, photon
PDM-102	40 keV ~	1 ~ 9,999 $\mu$ Sv	General use, photon
PDM-173	40 keV ~	0.01 ~ 99.99 mSv	General use, photon
PDM-107	20 keV ~	1 ~ 9,999 $\mu$ Sv	Low energy, photon
PDM-303	thermal ~ fast	0.01 ~ 99.99 mSv	Neutron
ADM-102	40 keV ~	0.001 ~ 99.99 mSv	With vibration & sound alarm, photon



## Safety, convenience and a variety of styles to choose from.



PDM-107



PDM-102



PDM-101



PDM-173



PDM-303



ADM-102