

## 核能和环境关系的讨论:选择的条件

通过气候变化方面的国际机构正在评价核动力  
和其他能源方案的作用

Evelyne Bertel  
和Joop  
Van de Vate

环境问题在国际议程上居首要地位。各国政府、感兴趣的团体和公众日益意识到,需要限制人类活动对环境的影响。在能源部门,着重限制可能引起全球气候变化的温室气体的排放量。这个问题可能成为今后几十年里选择发电能源方案中的推动因素。核动力的前途无疑将受这种讨论的影响,而它在减少电力部门对环境的影响方面所起的潜在作用将具有非常重要的意义。

从科学上说,大气中诸如二氧化碳(CO<sub>2</sub>)和甲烷之类温室气体浓度的升高,将会引起全球的气候变化,这是没有什么可怀疑的。不过,气候的自然变化仍超过估计的人类活动对气候变化的影响。

尽管存在诸多不确定,但气候变化的威胁仍是一种全球性的长期的严重风险。为了设想 2100 年及其后时段的各种情景,需要深入了解生活方式、社会经济和技术的长期发展情况。这些情景具有固有的主观性。现已知道,能源消耗是温室气体的重要来源之一,现今核电使全球 CO<sub>2</sub> 的排放量减少 8% 以上。

两个重要的国际机构涉足气候变化问题:一是气候变化框架公约缔约国大会(CoP/FCCC),其第一次会议于 1995 年 3—4 月召开;另一是成立于 1988 年的政府间气

候变化委员会(IPCC)。由于能源部门在人为温室气体排放量中占主要份额,一些拥有能源领域的专门知识和授权的国际组织(例如国际原子能机构)积极参与了这两个机构的各项活动。在这方面,国际原子能机构(IAEA)参加了 IPCC 的第二份科学评估报告(SAR)的编写工作。

IAEA 向 IPCC 提供了从其正在执行的计划中获得的有关核动力在减轻全球气候变化风险方面的潜在作用的已形成文件的资料及成果。尤其是,IAEA 与经济合作与发展组织核能机构(OECD/NEA)联合编写了 SAR 有关能源供应缓解方案一章中关于核动力的若干节。该章的内容是:对减少温室气体排放量的不同方案的描述;对 CO<sub>2</sub> 低排放量的能源供应情景的解说性介绍;以及对实施碳低排放技术和战略的讨论。IAEA 和 OECD/NEA 还为 SAR 编写了一份辅助文件:《核动力在减少温室气体排放量方面的作用》,该文件于 1995 年 4 月作为 IAEA TECDOC 丛书出版。

本文叙述上述两个国际机构的主要职能,并报道 IAEA 对 IPCC 将于 1996 年初提交给 CoP/FCCC 的第二份科学评估报告所作的贡献。

### 与气候变化相关的全球性组织

1992 年在里约召开的联合国环境与发展大会(“全球首脑会议”)上,人们从避免气

Van de Vate 先生为 IAEA 核动力处规划和经济研究科职员。Bertel 女士为该科前职员,现为设在巴黎的经济合作与发展组织核能机构职员。

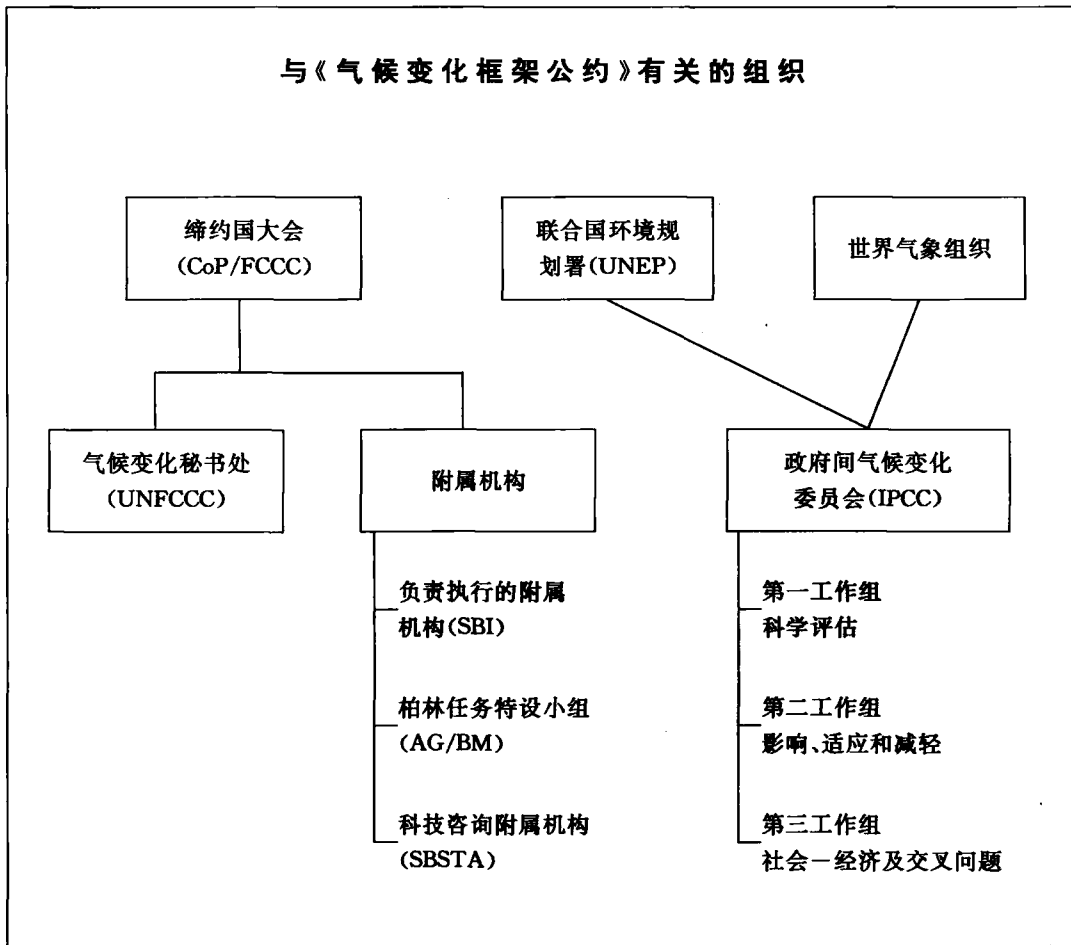
候变化、环境污染和资源贫化的角度讨论了地球的可持续性。在里约签署了《气候变化框架公约》(FCCC)。该公约经 50 多个国家批准后于 1994 年生效。FCCC 的目标是将大气中温室气体浓度降至无危险的水平。这就尤其要求人均 CO<sub>2</sub> 排放量比发展中国家高 10 倍的工业化国家采取严厉措施。工业化国家将必须对发展中国家的社会—经济发展和人口不断增长必然带来的 CO<sub>2</sub> 排放量的增加给予补偿。FCCC 规定的这种公正的考虑常常是有关气候变化的政府间会议上政治讨论的焦点。

FCCC 的最高机构 CoP/FCCC 于 1992 年由全球首脑会议成立,并于 1995 年 3 月和 4 月在柏林召开了第一次会议。该机构的任务是审议 FCCC 的执行情况,并作出必要

的决定以推动该公约的执行。此外还成立了几个辅助机构:该公约成立了负责执行的附属机构(SBI)和科学技术咨询附属机构(SBSTA)。在柏林,CoP/FCCC 成立了柏林任务特设小组(AG/BM),以便为 2000 年以后的时期起草一份议定书。SBI 将提出建议,以协助 CoP 审议和评估公约的执行情况。SBSTA 将把科学技术评估和由国际机构提供的信息与 CoP 的政策性需要联系起来。IAEA 将参与由这些与 FCCC 有关的机构开展的活动。

IPCC 是一个独立的、科学技术机构,其任务是帮助决策者减轻全球气候变化。作为其工作的一部分,IPCC 提出有关气候变化的科学评估报告。其第一份报告已于 1990 年出版,并于 1992 年补编中得以修订。其第

与《气候变化框架公约》有关的组织



二份报告已于 1995 年底 IPCC 马德里会议上得以赞同,预计 1996 年初出版。第三份评估报告定于 1998 年发表。

在与 OECD 的一个合作项目中,IPCC 还编写了《国家温室气体存量准则》。这些准则有助于各国政府定期向 CoP/FCCC 报告各国有关降低温室气体排放量的措施的执行情况。

这些科学评估报告是由多种学科的专家起草的。这些报告须经各国专家和国际专家审议后再提请 IPCC 全体会议及其 3 个工作组核准。第一工作组——科学评估工作组,负责研究气候学。第二工作组——影响、适应和减轻工作组,负责研究诸如海平面上升、能源和沙漠化等课题。第三工作组——社会—经济及交叉问题工作组,负责评价有关气候变化的社会—经济文献资料。第一和第二工作组已评估了直至 2100 年的诸个时段内的 CO<sub>2</sub> 排放情景。

在为这些评估作出努力的同时,IAEA 一直从综合比较性评估的角度强调核能的潜在作用。

### 选择的条件

所有电力生产方案都会对环境产生某些影响。然而,如果采用最先进的技术,则这些方案就能以对环境产生相对较低的风险提供电力。尤其是已有一些可减轻或缓解动力部门的温室气体排放量的技术方案。政策性措施(如税收、补助金和排放许可证)也可被用作一种手段,以反映社会为各种替代方案估计付出的全部代价。动力部门决策人员面临的艰巨任务是及时制定并执行基于混合能源并旨在以最低社会总代价使对环境、健康和社会产生的不利影响降至最小的战略。

动力部门能够考虑多种技术方案,从提高效率至通过转而采用低碳或不含碳的燃料来杜绝 CO<sub>2</sub>。但是在决策一级,必须承认和考虑技术—经济因素和执行面临的障碍。能源效率的提高是有限的,而且要付出代

价,一旦取得明显的节约,所付代价便会迅速增加。

虽然有些技术方案从科学上看很有吸引力,但远未达到工业开发阶段,甚至还未达到技术可行性验证阶段。因此,这些方案不可能在短期和中期对减少温室气体排放量或其他的健康和环境影响产生任何明显的作用。例如,深海吸收与处置二氧化碳,或基于氢作为载体的能源系统,从长期来看,或许会大大有助于减少温室气体。但是,在未来的几十年内,上述方案决不会达到工业上成熟和经济上有竞争力的地步。除水电和生物燃料两个特例外,可再生能源没有大规模基荷发电的现实前景。

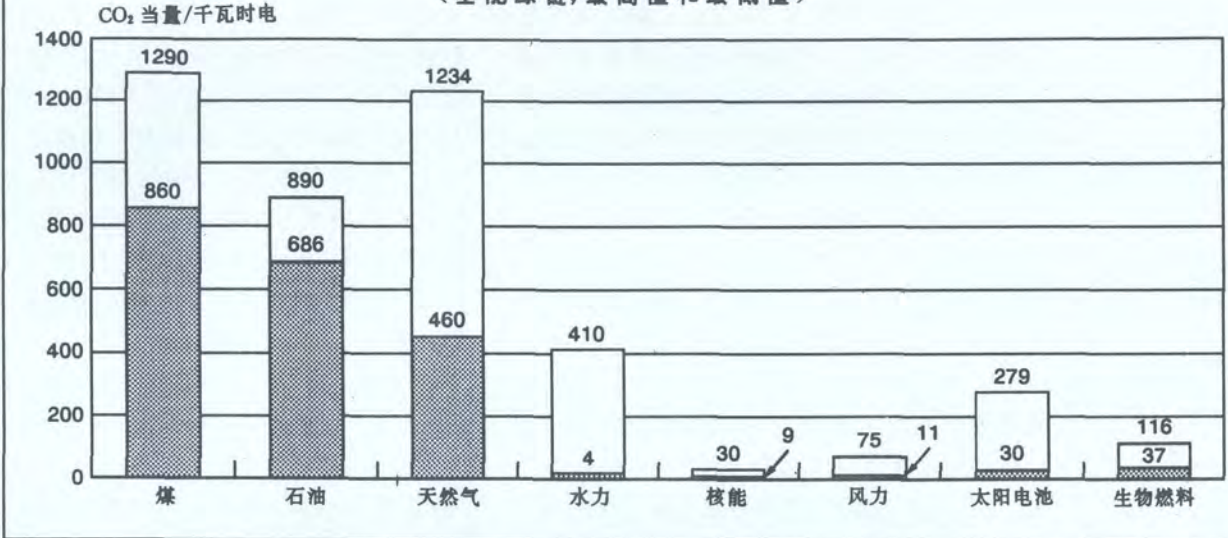
### 核动力和电力方案

核动力是目前可利用的一种成熟的技术,它可以有助于大大减少能源部门的温室气体排放量和对环境产生的其他影响,并有助于实现环境保护目标。从长远来看——正如 SAR 关于能源供应缓解方案一章正文摘要所述——“如果对反应堆安全、放射性废物处置和核武器扩散等事务的回答能够被普遍地接受,核动力便能替代世界上大部分地区的化石燃料基荷发电。”

核能用于发电可以追溯到五十年代末,而现已达到工业成熟阶段。到 1994 年底,并网发电的核电机组共有 432 套,其总装机容量约为 340 吉瓦电(GWe)。1994 年全世界核发电量超过 2300 太瓦小时(TWh),占电力总消耗的 17%。自八十年代中期以来,核电厂的累积运行经验已达 7200 堆年以上,其平均运行实绩在不断改进,能量可利用因子在 70% 以上。这些经验使核动力成为决策人员为未来几年和几十年内持续地扩大电力系统而考虑采用的技术之一。

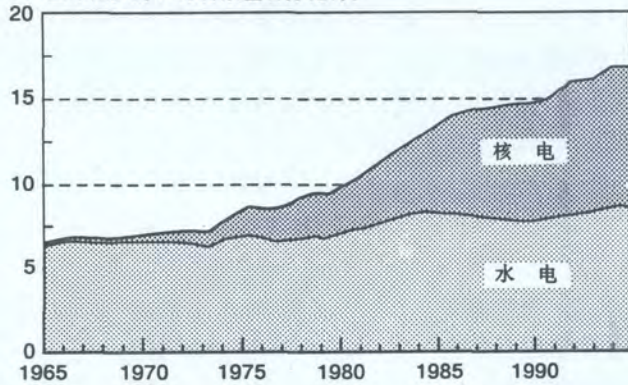
尽管在选择发电方案时对环境考虑很可能成为主要因素,但在评估和选择可替代能源时,经济竞争力仍将是方案的基本因素。虽然有迹象表明,一些重大的技术突破可以大大减少除了水电以外的某些可再生

不同能源的 CO<sub>2</sub> 当量排放因子  
(全能源链; 最高值和最低值)

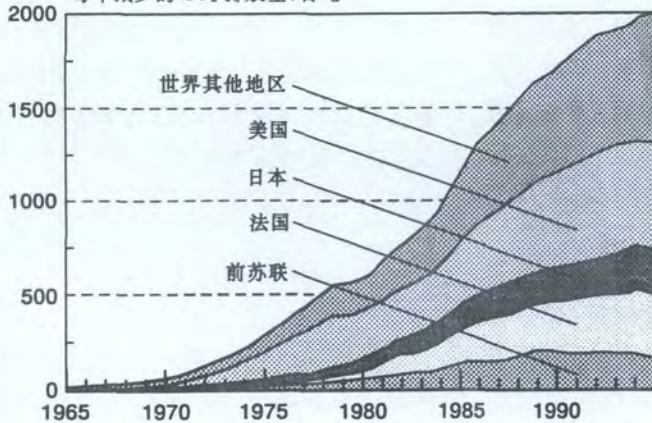


使用核电和水电后  
全球减少的 CO<sub>2</sub> 排放量

全球减少的 CO<sub>2</sub> 排放量百分比, %



每年减少的 CO<sub>2</sub> 排放量, 吉吨



CO<sub>2</sub> 排放率变化趋势  
1965—1993 年

	1993 年 排放率 (Pg/y)	年增加 (Pg/y 每年)	百分比 增加 (%)
欧洲联盟	3.5	0.025	0.8
OECD 国家	12.1	0.15	1.4
非 OECD 欧洲国家	5.5 (1988)	0.11 (1965—88)	2.6 (1965—88)
欠发达 国家	7.7	0.21	4.4
世界	24.0	0.39	2.1

各地区的 CO<sub>2</sub> 排放率变化趋势各不相同, 它反映了自六十年代中期以来核动力计划发展程度的差异。总的说来, 核电生产的增加比水电快得多, 其目前对 CO<sub>2</sub> 排放量的减少所作的贡献与水电相当。将各种能源产生的所有温室气体排放量进行比较, 可以看出核电、水电和风力发电的排放因子是低的。上端的柱状图表示根据 IAEA 与其他组织的研究结果汇编的最高值和最低值。核电低 CO<sub>2</sub> 当量排放因子是国际公认值。

来源: British Petroleum Statistical Review of World Energy, 1995.

能源(诸如太阳电池和风力)发电的成本,但是那些方案在下个世纪的二十或三十年代之前不可能与化石燃料或核动力基荷发电相匹敌。在大多数国家,由于石油市场价格不稳定以及担心不能保证供应,故石油不被考虑用于基荷发电。因此,多数国家对在今后一二十年内投入运行的基荷发电机组的选择将基本上限于化石燃料(主要是煤和天然气)和核动力,以及在有合适的坝址时,选择水电。

煤电机组、天然气发电机组、核电机组和水电机组的发电相对成本因国而异,很大程度上取决于各国的条件、贴现率和对煤与天然气今后价格趋势的预测。在一些可以获得本国廉价资源的国家,煤现在是并仍将是经济上有吸引力的选择对象。通过开发高效联合循环技术工艺,天然气在一些国家的基荷发电方面已具备竞争力。不过,天然气发电成本颇受天然气价格的影响。如果市场需求迅速增长,则天然气价格会明显上涨。在有合适的坝址时,水电项目可以提供低成本发电的机遇。然而,这样的坝址是有限的,而且在不少国家,大型水坝的社会和环境影响正在妨碍建造水电厂。此外,最近一些出版物表明,由于水库排放温室气体,水力发电可能对气候不利。

尽管核电机组投资成本高,但在大多数国家其竞争力高于化石燃料机组。在那些核计划得以正常执行和管理而化石燃料不可能以低价获得的国家,情况更是如此。预计正在进行的研究和开发将进一步提高核电厂的实绩,从而更加降低核电成本。此外,由于采用计算核电成本的综合方案,相对于直接估计的成本来说,非内在化的社会、健康和环境成本是非常低的,比使用化石燃料系统亦低得多。通过分解这些成本中的各个因子,核电的竞争裕度会变得更大。

**环境影响。**就环境影响而言,核动力提供了特有的好处。核电机组及核燃料循环设施在正常运行的情况下的确释放少量放射性物质。但是,几十年前制定和执行的限制放射性释放的准则符合保护人类健康的标准,并更足以保护环境。核电机组及核燃料

循环设施产生的其他排放物量、残留物量和负担都低于化石燃料发电链所产生的那些,并且同可再生能源系统产生的那些相差不大或比之更低。从发电涉及的整个上下游能源链考虑,核动力排放的二氧化碳量仅为目前使用化石燃料链的1/40—1/100。核能链的温室气体排放量主要是由于在铀的提取、加工和同位素富集过程中使用了化石燃料,以及在反应堆和燃料循环设施建造用钢材和水泥的生产过程中使用了化石燃料。这些排放量与直接使用化石燃料发电的排放量相比微不足道,通过提高能源效率还可进一步减少这种排放量。在同位素富集阶段,这种能源效率的提高包括以能源密集度较低的工艺(例如气体离心法或激光同位素分离法)替代气体扩散法等。

核电在减少全球气候变化的风险方面已起的作用是显著的。这可以由下述事实来说明:假如世界各地运行中的核电机组全部以化石燃料发电机组来代替,那么能源部门的CO<sub>2</sub>排放量将会增加8%以上。这个水平——几乎相当于水电减少的排放量——已在一些国家通过约20年的核动力发展得以实现。

对不同国家最近20年的统计资料的分析表明,那些实施大规模核计划的国家,例如比利时、法国和瑞典,都同时大大减少了CO<sub>2</sub>排放量。比如在法国,1982年至1992年间,尽管电力生产增加近一倍,但由于核电在电力供应中所占份额高,其CO<sub>2</sub>和二氧化硫的排放量均减少了2/3以上。在美国,如果1973年至1992年间不使用核能,则将会向大气多排放近17.5亿吨CO<sub>2</sub>。在未大规模使用核电的国家和地区(比如发展中国家),CO<sub>2</sub>排放量增长率较高。

---

## 长期前景

从长期来看,核燃料资源和已有的工业基础设施能够支持许多国家广泛执行核动力计划。如果执行核动力计划的障碍得以减少,那么从现在起直到整个下世纪,核电生

产可以稳步增长。IAEA 与 OECD/NEA 合作拟定的长期核情景能够证实这一点。

这个长期情景是根据 IPCC 的 SAR 中关于能源供应缓解方案一章提出的全球能源和电力需求的预测拟定的。它设想核动力将广泛用于减少全球气候变化的风险,并将依靠其经济上的竞争力打入市场。这意味着核动力推广应用的障碍——比如暂停建造新的核电厂和无视核选择的政治决定——将逐渐予以消除,并意味着加强技术改进和转让以及各开发银行的财政支持将促进发展中国家的核项目。

为估计不同地区核动力的引进率而提出的这些设想,反映人们需要多样化供应并希望供选择的方案具有可利用性和竞争力。这些选择方案包括中东的石油和天然气,从长期来看还有生物燃料及其他可再生能源。核动力可能用于生产热和氢未予考虑,因为就核动力在这些应用方面的竞争力而言尚存在一些不确定因素。

按此情景到 2100 年,核电在总电力生产中所占份额的范围将从非洲、澳大利亚、新西兰和中东的 20% 以下到西欧的 75%。核电总装机容量将从现在的 340 GWe 增加到 2100 年约 3300 GWe。核动力将提供全世界电力消耗量的 46%,而目前为 17%。

在估计核电装机容量的可能增长率时考虑的技术限制包括建造核电厂和核燃料循环设施的建造周期和工业能力。还按地区考虑核设施(包括放射性废物处置库)场址的可获得性,同时还考虑地震活动性、冷却水需求量和在人口密度较低地区建造核设施的必要性。考虑到已知的铀钍资源和在易裂变材料利用方面预期的技术进展,核燃料生产所需自然资源的可获得性不会对核动力发展构成任何大的限制。此长期情景要求在 2025 年以前应用增殖堆,以支持以目前已知的铀资源为基础的直到 2100 年的这段

时期的核电生产。不过,在此期间,必要时可能供应额外的铀资源。此外,其它类型核电机组,例如钍燃料反应堆、混合系统堆,甚至聚变反应堆,也许得以开发和作商业应用。

此核情景的实现,将使全球 CO<sub>2</sub> 排放量比目前水平减少 2/3。如果不使用核动力,只有在下述条件下 CO<sub>2</sub> 排放量才会有类似的减少:尚未达到商业开发水平的各种可再生能源要于下个世纪初进入市场,并在整个下个世纪内以很高的速度加以应用。

### 可持续的能源发展

未来将不断增加对能源的需求量,尤其是需要增加新的发电装机容量。与此同时还有必要减少燃烧化石燃料诱发的健康负担和环境负担。总之,今后要求开发能达到短期、中期和长期的环境保护与经济效率目标所有可利用的能源资源,和技术方案。

核动力是一种可减少电力生产的排放物和残留物并可缓解能源部门对健康和环境影响的方案。为了对世界范围内实施可持续供电战略作出重要贡献,核动力应增强其对化石燃料系统的竞争力,从长远看,还应增强其对可再生能源的竞争力。核动力应用的障碍应通过以下持续的论证予以消除:能可靠和安全地运行反应堆和核燃料循环设施,技术上业已解决所有放射性废物的最终处置,并随时可加以使用。

核电机组的技术性能、安全性和竞争性正在不断取得进展。这些成就将增强核方案在愈来愈多国家中的生存能力。一些国家评价了核动力相对于其他能源在经济和环境方面的好处,并据此已将核动力作为有生存能力的方案,核动力计划在这些国家中的继续或复兴,将大大有助于增强能源供应系统的可持续性。 □