

核动力及其在限制 CO₂ 排放量方面的作用

研究结果表明核能的利用

正在帮助各国避免来自电力生产的 CO₂ 排放

J. F. van de Vate
和
L. L. Bennett

大约 80% 的二氧化碳 (CO₂)——与“温室效应”相关的最重要的气体之一——产生于能源的生产和使用。大气中的这种微量气体要对 60% 以上的温室干扰负责。

近几年来,限制来自能源生产和其他工业活动的 CO₂ 排放量的必要性,已引起国际上越来越多的关注。不排放 CO₂ 的核动力发电在世界能源生产体系中的比重愈来愈大,其潜在作用也已得到国际上更多的注意。核动力是能量来源之一,它为减少排向大气的温室气体已经作出巨大贡献,并可在将来作出更大的贡献。

1992 年 6 月,在巴西的里约热内卢举行了联合国环境与发展大会,即通常所说的“全球首脑会议”。许多人认为这是本世纪的重要国际会议之一。作为这次会议产生的主要行动计划之一的“二十一世纪议程”,包含把环境与发展联系起来以改善已受到危害的地球及其居民的持续能力的战略。鉴于我们处在威胁和机遇已经变化了的新时期中,作为斯德哥尔摩 1972 年环境大会之后的一次大会,全球首脑会议把工作重点放到了气候变化上,这是一个新的发展迅速的环境问题。这个问题有两个方面,一个是平流层的臭氧耗竭,一个是温室效应,后者与人类的一种基本需求即能源有非常密切的关系。

但值得注意的是,在大多数 UNCED 文件中,几乎没有注意到核能。例如,二十一世纪议程在其关于可望对环境的改善做出

较大贡献的“环境方面安全适宜的和效率比高的能源体系,特别是新的和可再生的能源体系”的定义中,未包括核能。联合国世界环境和发展委员会向全球首脑会议提出的报告《我们共同的未来》,对核能相当苛求。该报告基本上构成了二十一世纪议程的基础。

不过,具有环境意识的罗马俱乐部最近发行的一种出版物,对核能抱有比较肯定的看法。题为《致罗马俱乐部的第二份报告》的这份出版物认为,核能是没有温室效应的能源政策的不可缺少部分。联合国的《气候变化框架公约》(FCCC),即被与会者一致通过并已有 154 个国家签字的、全球首脑会议关于气候变化的这个文件,对各种能源持中立态度。FCCC 正在成为各国能源战略的基础,已被广泛接受,它要把“大气中的温室气体浓度稳定在气候系统不会产生危险的人为干扰的水平上”。因此,降低温室气体排放率,已经象效率比、能源供应可靠性等现有因素一样,成为制定能源规划时的一个主要考虑因素。

现在,环境和气候变化政策正影响着世界许多地区的能源生产。国际原子能机构 (IAEA) 关于核能源和其他能源的比较分析计划,旨在提供制订能源规划时进行全面而公平的比较的工具和数据。但是,以常用的量来表示不同能源产生的全部环境影响是困难的,甚至是不可能的。因此,本文仅限于探讨温室效应。就此而论,本文除讨论未来需要低 CO₂ 排放能源外,还将论及核动力在减少 CO₂ 排放量方面已经起到的作用。

Bennet 先生是 IAEA 核动力处规划和经济研究科科长, van de Vate 先生是该处职员。

过去的信息

大气中 CO_2 的浓度正在以每年约 0.4% 的速率增加,这种增加主要是由使用化石能源造成的。目前估计,全球与之有关的 CO_2 排放量约为 24 000 兆吨/年(Mt/a)。来自能源部门的年增加量稳定在约 250 兆吨二氧化碳/年(Mt(CO_2)/a),主要是因为发展中国家的能源用量日益增多。工业化国家和中东欧“正在转轨”国家的 CO_2 年排放量,自 70 年代中期以来已经稳定。

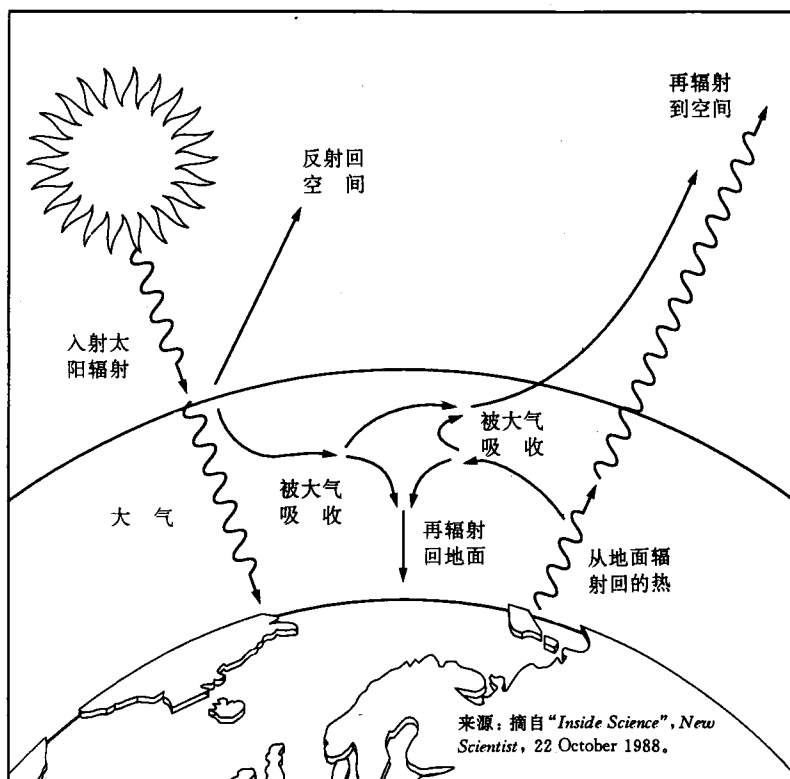
CO_2 排放率已经稳定的这种认识,将有助于发展一种对环境比较温和的能源战略。为此,更仔细地研究一下人均 CO_2 排放量也许是有益的。这样分析时,将排除人口因素(发展中国家的口增长率在世界人口增长率中占支配地位)。

经济合作与发展组织(OECD)国家的人均 CO_2 排放量 1973 年以后略有下降,但其他国家和地区的总趋势却是增加。(见第 23,24 页的图。)在前苏联,1980 年以后的增加量相当小。在发展中国家,人均 CO_2 排放量每年约以 3.5% 的速率稳步增加。工业化国家和发展中国家的人均 CO_2 排放量差一个数量级,这是值得注意的,它是生活标准和生活方式不同所造成的。

我们推测,工业化国家中人均 CO_2 排放量之所以能稳定,可归因于掺进了 CO_2 排放量较低或为零的能源。有助于说明这一点的是,70 年代中期以来工业化国家能源生产量中电力所占的份额大大增加,而且许多国家采用了核动力。

当然,我们从 CO_2 排放因子的变化趋势中可以得到更进一步的了解。 CO_2 排放因子被定义成每艾焦耳(EJ 或 10^{18}J)释放的 CO_2 量,这是一个可用来对不同化石燃料进行比较的因子。对特定的国家或地区而言, CO_2 排放因子是其温室温和性(greenhouse benignancy)的一个技术指标。

总的说来,全球的和地区的 CO_2 排放因子是连续地、比较稳定地下降的。发展中国家的年下降速率最低($-0.24 \text{ Mt}(\text{CO}_2)/\text{EJ} \cdot \text{a}$),前苏联集团的年下降速率最高



温室效应

大气的功能如同温室的玻璃一样,保护地球不至冷到远低于冰点的水平。不过,一个多世纪以来,世界各地大气中的温室气体浓度一直在增高。温室气体水平的增高,干扰了地球的入射太阳辐射和出射热之间的平衡。

如果由地球上天然存在的和最重要的温室气体即水蒸气引起的反馈增强得不多,人为温室气体对大气的辐射压力也许不会很大。当大气温度升高时,空气的湿度便增加,从而进一步增加辐射压力。

这种过程被认为是对人类和环境的一个严重威胁,这不仅是因为它能导致“全球变暖”(某些人认为变暖甚至是有益的),它还能够使涝灾、旱灾和飓风灾的频度与严重性增加。后面这些灾害都是我们的日常经验和认识中较为常见的威胁。近来,参与世界气候计划的科学界人士对这些极端的气象事件愈来愈感兴趣。总之,大多数专家认为有充分理由说明必须降低温室气体排放量,尤其是来自能源生产的温室气体排放量。

采取一系列措施的必要性。为了避免温室效应的进一步干扰并且阻止未来的人为气候变化,应该采取什么措施呢?由 IPCC 主席 Bert Bolin 在该组织成立不久后进行的一项有意义的研究回答了这个问题。Bolin 在 1989 年 5 月向 IPCC 研究响应战略的 III 工作组所作的讲话中已经指出,只有采取一系列非常有力的措施,才能使预测出的 2030 年全球升温 2 度中的绝大部分避免发生。

Bolin 的研究结果表明,为了避免升温 2 度,我们需要在 2000 年完全禁用氟氯烃(CFC),需要在自 1900 年以来树木被砍掉的陆地面积的至少一半上重新植树造林,需要以每年 0.5% 的速率降低化石燃料的使用量,并且需要明显提高能源最终利用时的效率。

(-0.43)。整个世界和 OECD 国家的年下降速率分别为 -0.29 和 -0.33。就温室温和性而言,全球能源体系普遍相当稳定地改善的这些趋势是令人鼓舞的。

为了说明能源生产中所用化石燃料的构成发生变化后的效果,曾将使用的每 EJ 化石燃料释放的 CO₂ 量定义为特别的 CO₂ 排放因子。1973 年石油危机以前,这个特殊的排放因子在全世界正在逐步改善,而且工业化国家和发展中国家的情况相似。不过,1973 年以后,这个排放因子几乎毫无改善,只是 1985 年以后才稍有降低。

发生这种情况的原因之一是,1973 年标志着用石油取代排放 CO₂ 较多的煤的时期的结束。自那以后,化石燃料的构成便没有大的变化,平均的 CO₂ 排放因子的继续下降是由别的原因引起的。1973 年以后,核动力和少量水力承担了改善全球平均 CO₂ 排放因子的任务。由于利用核动力而避免排放的 CO₂ 的百分数,从 1973 年的约 1% 增加到 1990 年的差不多 7%;与水力的利用相应的百分数从 6.5% 增加到 8%。一些拥有庞大核计划的国家,一般都能显著改善 CO₂ 排放因子,即执行的是温室温和的能源政策,这是不足为奇的。在从 1965 年到 1990 年的这个时期里实施庞大核计划的国家,例如比利时、法国和瑞典,都明显地改善了它们的能源战略的温室温和性。他们是通过每年把 CO₂ 排放因子降低 1 Mt/EJ 以上来做做到这一点的。

在过去的 10 年中,世界的和美国的平均 CO₂ 排放因子仍停留在石油的 CO₂ 排放因子即 75 Mt(CO₂)/EJ 的水平上。这进一步说明瑞典和法国等国自 70 年代中期实施其核计划以来,核动力在降低其 CO₂ 排放量方面所起的有益作用。这也表明瑞典和挪威的水电有重要作用。此外,数据还表明,象中国(煤)、美国(煤和石油)和挪威(水力)等拥有丰富的本国能源资源的国家,它们的 CO₂ 排放因子相对稳定。这说明在过去几十年中,各国的能源政策都高度优先地考虑供应的可靠性而不是环境的可持续性。

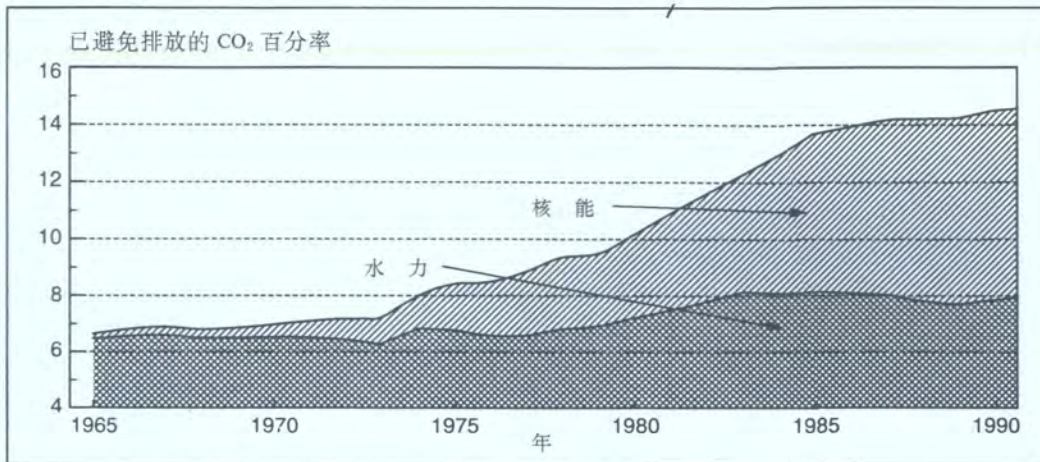
预测的信息

为了对与能源相关的 CO₂ 排放量作出长期预测,已经设想了多种能源情景。有些情景明确考虑了核能供应。为了便于说明,下面分析由政府间气候变化委员会(IPCC)、国际应用系统分析研究所(IASA)和世界能源委员会(WEC)提出的几种 CO₂ 排放情景。(见第 25 页的图。)此外,还将讨论另外 3 种情景,它们涉及有关人口增长和世界公平发展的不同假设。

IPCC 情景。 IPCC 的参考情景(1a)假定,世界人口到 2100 年将达到 110 亿,合理的年平均经济增长率在 2025 年以前为 2.9%,以后为 2.3%。天然气和可再生能源特别是被认为将变得有竞争力的太阳能和生物燃料,将大大增加它们在能源总供应量中的份额。这种情景将使与能源相关的 CO₂ 排放量适度增加。

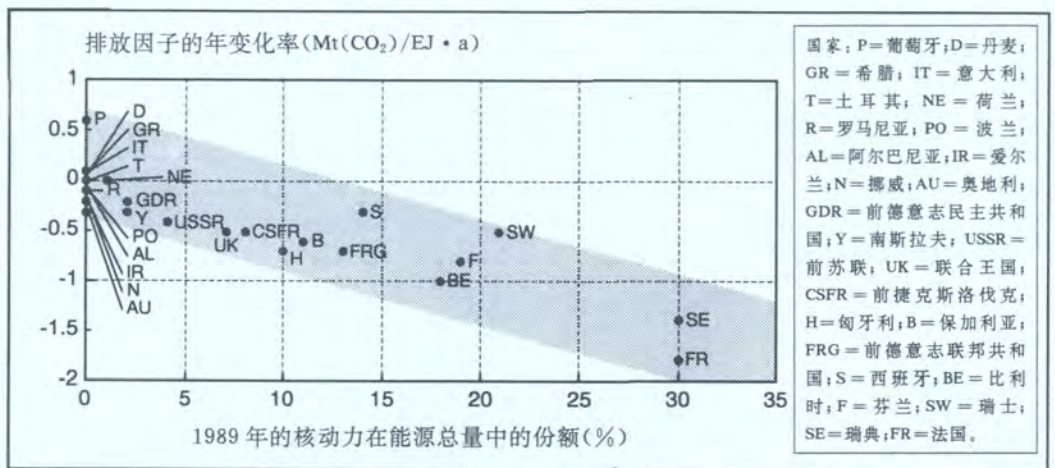
另外 3 种 IPCC 情景采取不同的假设。情景-1e 假定人口增长率与参考情景相同,但经济增长率较高——2025 年以前为 3.5%,以后为 3%。假定天然气与参考情景中的发展速度相同,而且假定核动力到 2075 年被淘汰。在这种情景中,CO₂ 排放量从 1990 年到 2100 年将猛增 3 倍以上。情景-1c 和情景-1d 假定世界人口增长率较低,2100 年世界人口为 64 亿;经济增长率也低于参考情景所取数值。情景-1c 假定的世界经济增长率最低,而且核动力将有较大的发展。在这种情景中,远期的 CO₂ 排放量将低得多,甚至 2025 年以后将下降。情景-1d 的下世纪 CO₂ 排放量将相当稳定,因为该情景假定,世界的经济和人口增长率都是适度的,而可再生能源将得到较大的利用,核动力的利用程度则较低。情景-1c 和情景-1d 显示出较低的 CO₂ 排放量与能源构成中较大的核动力份额之间的相关性,这两种情景说明核选择在实施可持续的长期能源战略中的重要性。

WEC 情景。 WEC 对 2020 年以前的年人口增长率作了相当低(1.4%)的假定之后,预测了世界直至 2050 年的能源需求。

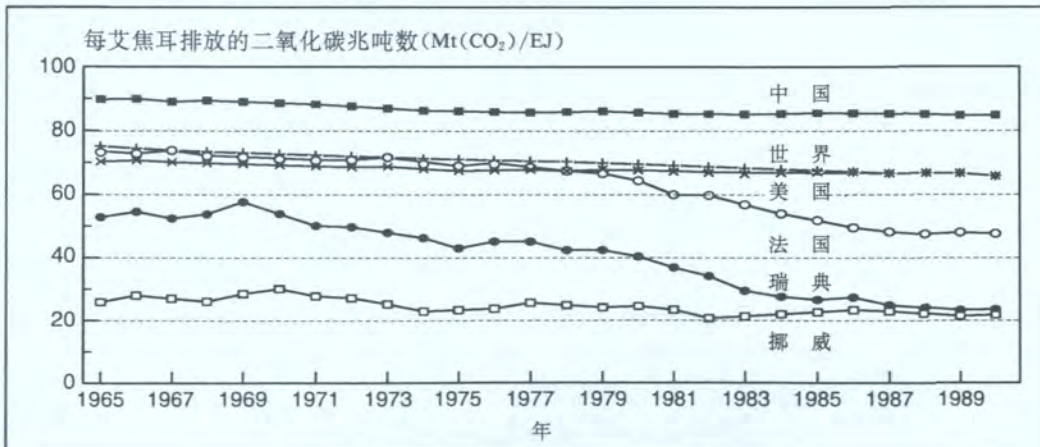


利用核能和水力
已避免排放的
CO₂ 百分率

核能利用和 CO₂
排放因子



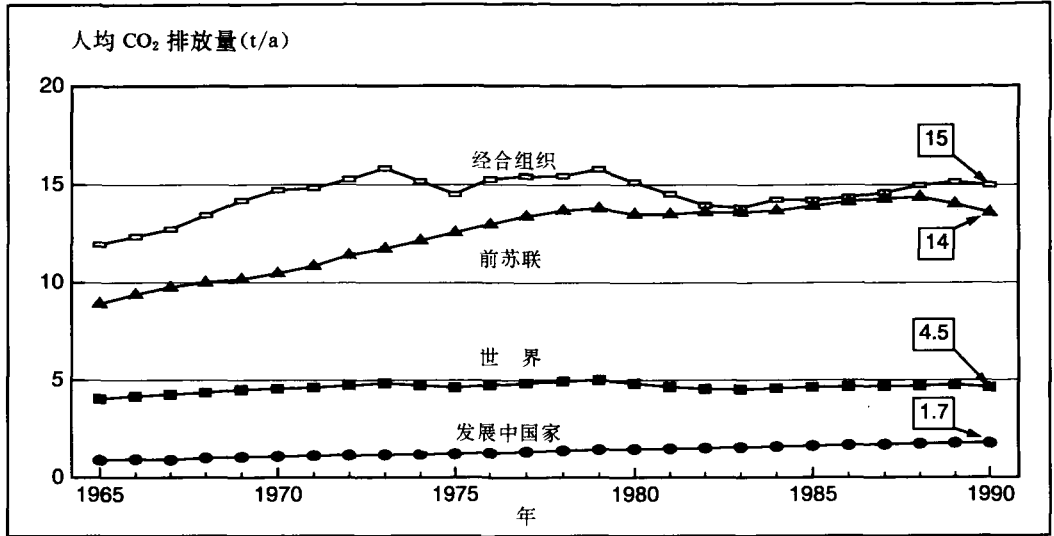
国家: P=葡萄牙; D=丹麦;
GR=希腊; IT=意大利;
T=土耳其; NE=荷兰;
R=罗马尼亚; PO=波兰;
AL=阿尔巴尼亚; IR=爱尔兰;
N=挪威; AU=奥地利;
GDR=前德意志民主共和
国; Y=南斯拉夫; USSR=
前苏联; UK=联合王国;
CSFR=前捷克斯洛伐克;
H=匈牙利; B=保加利亚;
FRG=前德意志联邦共和
国; S=西班牙; BE=比利
时; F=芬兰; SW=瑞士;
SE=瑞典; FR=法国。



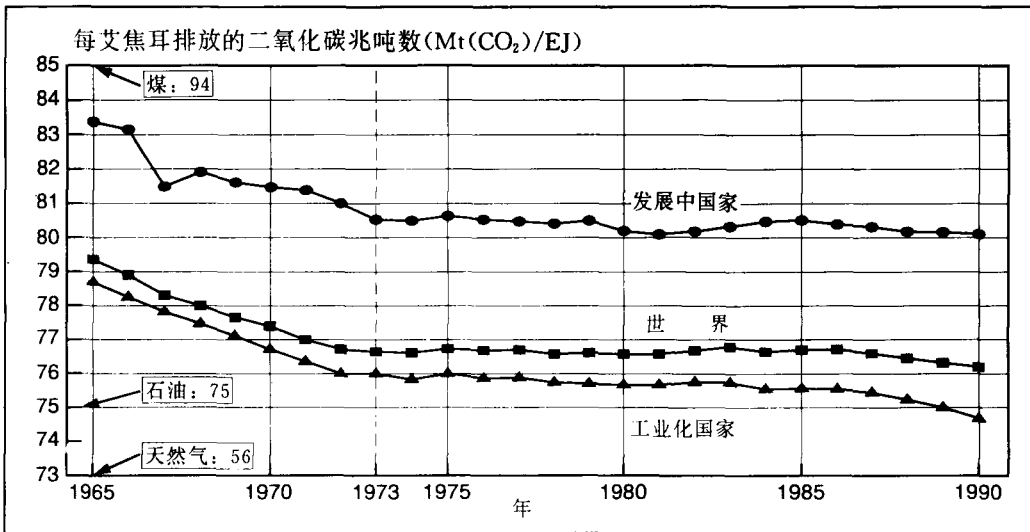
化石燃料在能源
消费量中的份额
和部分国家的
CO₂ 排放量

	化石燃料份额 (%)	非化石燃料份额 (%)		
		核能	水力	合计
中国	95	0	5	5
法国	65	30	5	35
挪威	29	0	71	71
瑞典	34	31	35	66
美国	88	8	4	12
世界	87	6	7	13

按国家组别列的
人均 CO₂ 排放量

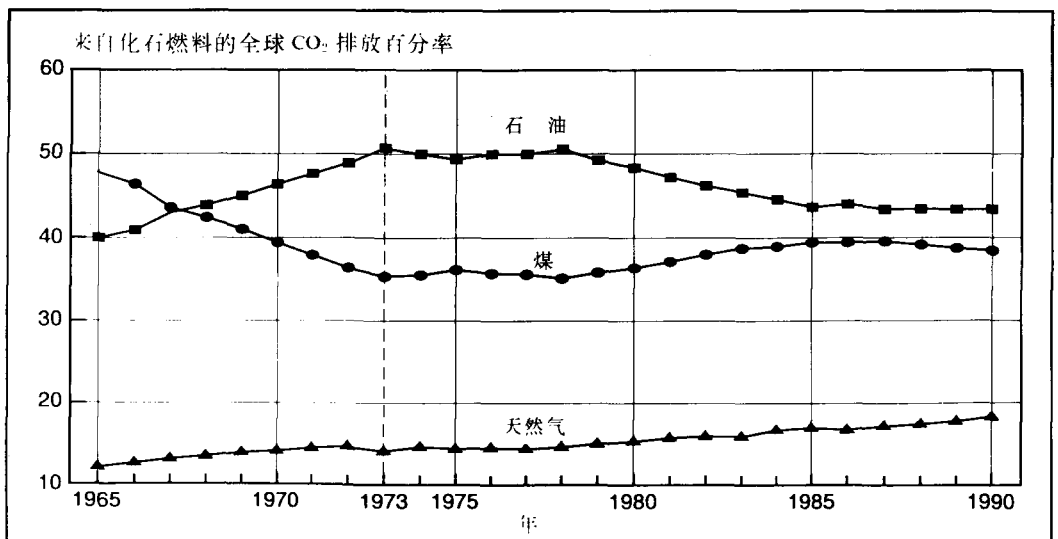


每艾焦耳排放的二氧化碳兆吨数(Mt(CO₂)/EJ)



CO₂ 排放量的变化趋势, 1965 — 1990 年

来自化石燃料的
全球 CO₂ 排放百分率



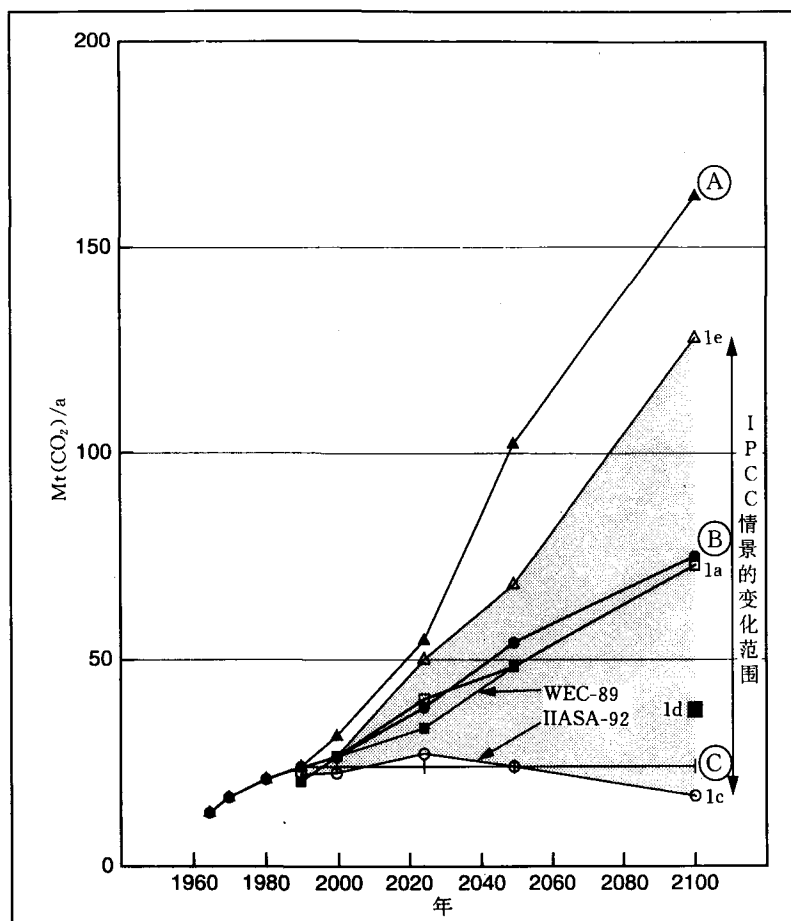
WEC-89 参考情景假定,80 年代后 5 年中达到的世界经济增长率将继续下去,而能源消耗强度的降低将比历史上记录到的快。在 1990-2020 年期间,核动力在世界一次能源供应量中的份额将增加约 50%。这种预测源于 WEC 所持的观点,即考虑到环境问题和供应可靠性,为了实现可持续发展,需要重新评价核选择。

IIASA 情景。IIASA-92 情景假定核动力在能源供应量中所占的份额较大。这个情景对在温室温和的政策中不排放 CO₂ 的技术必须对能源供应作出巨大贡献的观点,提供了更多的支持。

其他情景。在国际原子能机构,根据《气候变化框架公约》所载的那些观点,设想了另外 3 种情景。这个公约强调工业化国家和发展中国家在地球上平等的,并以此作为可持续发展的基本概念之一。这意味着,弥合富国与贫国之间的社会-经济差距,应该成为全球气候政策的支柱之一。这还意味着,未来的人均能源消费量和 CO₂ 排放量在各地区间会更加平衡。这可能也是发展中国家在与可持续的环境相关的全球政策方面给予充分合作的先决条件。现在,工业化国家平均的人均能源消费量和相关的人均温室气体排放量比发展中国家高一个数量级。所以,如果世界人口如所预期的那样增长到差不多目前的 3 倍,且根据公平的原则,则下世纪的全球能源需求量可能比现在大得多。

这 3 种情景分析了在下世纪中假定要达到的不同的最终公平水平。作这种分析是为了说明,在制定旨在缩小发展中国家与发达国家之间决定生活方式的经济差距的可持续全球能源政策方面存在的种种制约。这些情景进一步假设,人均 CO₂ 排放量的世界公平目标是逐步实现的,工业化国家与发展中国家的人均 CO₂ 排放量之比每年按 3% 的速率改变。假定世界人口到 2075 年达到 120 亿(这与联合国人口基金会设想的情景一致)。为了简单起见,假定燃料构成和利用效率提高方面没有变化。

考虑过的 3 种情景是:



情景 A。这种情景假定,工业化国家把它们的人均能源消费量和 CO₂ 排放量稳定在 1990 年的水平上,发展中国家则在 50 年的时间里赶上工业化国家。其结果在意料之中,也就是说全球的 CO₂ 排放量将剧增至 150 Mt/a,差不多等于现在的年排放量 24 Mt 的 6 倍。

情景 B。这种情景假定,2050 年的人均能源消费量的全球公平水平是发展中国家目前水平的 4 倍,也就是工业化国家目前水平的 0.4 倍。这一点将与用于发展的最大可能投资率相当。得出的 75 Mt(CO₂)/a 这一最终 CO₂ 排放率尽管处于 IPCC 情景的预测范围内,但仍然是很高的。

情景 C。这是一个“以不变应万变”的情景,它以假定全球 CO₂ 排放率稳定在 1990 年的水平上为制约条件。公平水平要到下个世纪末才能达到。当然,这意味着甚至连多伦多全球目标(到 2005 年,全球 CO₂ 排

设想的与能源相关的 CO₂ 排放量情景

放量比 1988 年降低 20%)也达不到。尽管如此,这种情景仍或多或少等同于 IPCC 情景-1c。后者假定核动力将有广泛的发展,并且是所有 IPCC 情景中 CO₂ 排放量最少的一种。这种情景隐含的要求是,工业化国家到 2050 年和 2100 年要分别把它们的 CO₂ 排放量降低 70%和 80%,以抵销发展中国家不断增加的 CO₂ 排放量。这就要求工业化国家每年少排放约 1 亿 t CO₂。这种减少所要求的核装机容量发展显然是可以实现的,因为它与 80 年代初期已经达到的核动力建设速度差不多。

合起来看,这 3 种情景表明,如果不采取强有力的措施,CO₂ 之类温室气体的排放率必将增加到异常高的水平,其原因主要是人口的增长和发展中国家中由公平性引起的生活方式的改善。此外,这些情景还意味着,为了实现抑制气候变化的世界性战略,必须发展核能。同样,这要求发展中国家更广泛地利用核能发电。

重视已有的承诺

那些假定核动力将对能源供应作出明确贡献的能源情景清楚地表明,如果核能进一步进入电力市场,全球的 CO₂ 排放量就能大大减少。为了把温室气体排放量降至使温室和相关的气候变化不再发生更大的人为干扰的水平,需要采取若干措施,包括发展核能和提高能源利用效率。这意味着全世界的工业化国家和发展中国家都要作出巨大努力,而发展中国家则需要在资金、专门知识和硬件方面得到大力支持,一切均以降低温室气体排放量为转移。

当然,作为第一步,所有工业化国家都要通过降低它们自己的温室气体排放量(目前占支配地位)来证明它们是认真对待温室问题的。就此而论,那些想取消核能的国家将不得不承认,这样的动作将难以甚至不可能履行其至少稳定 CO₂ 排放量的承诺,更不用说达到多伦多全球目标了。 □

芝加哥和世界其他一些城市所用的大部分电力是由核电厂提供的。(来源:ENEL)

