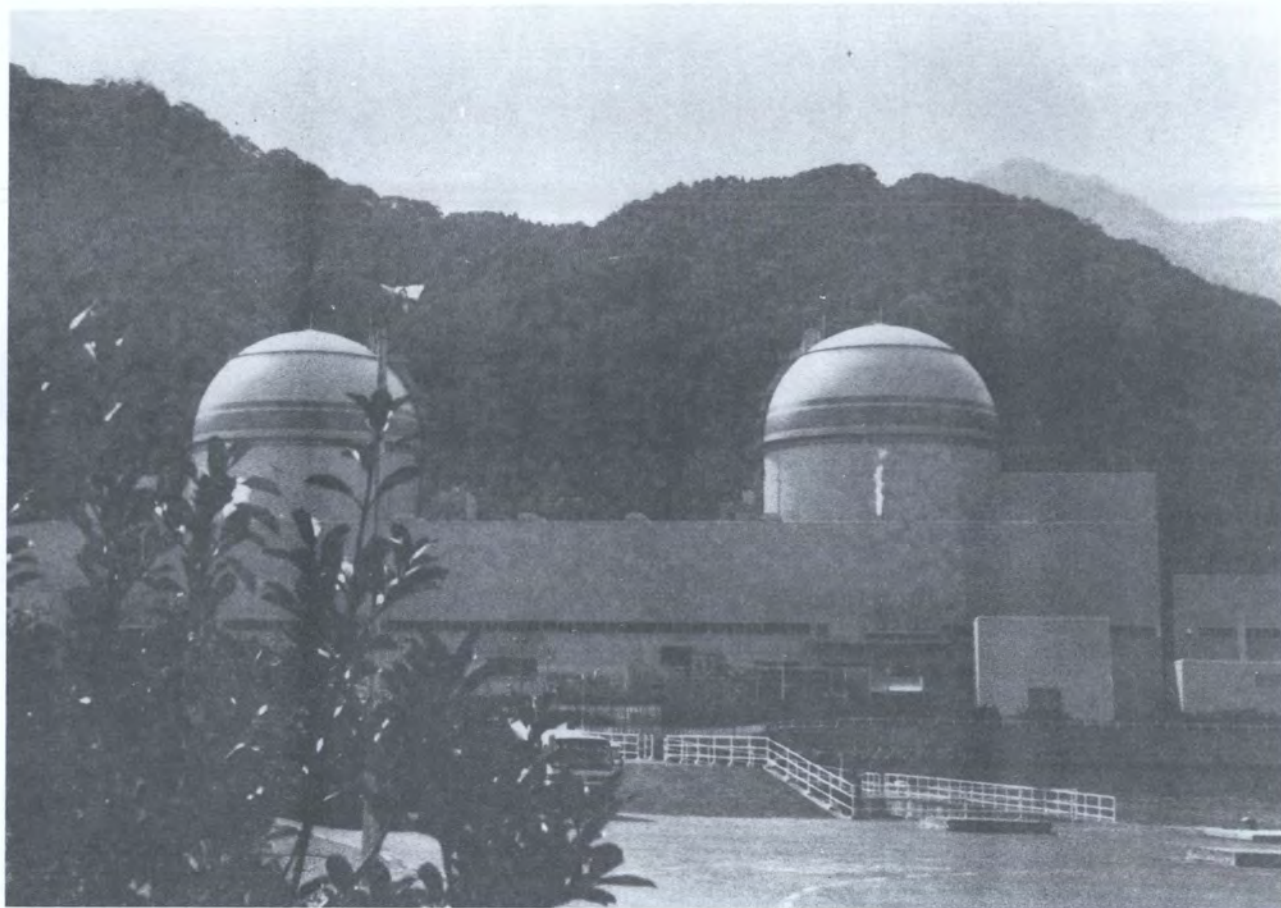




由于担心空气污染和引起全球气候变暖废气的排放等环境问题，全世界依靠核能发电显得更加重要。日本总发电量的四分之一左右是靠核电机组提供的，上图是日本高滨核电站的一部分。法国总发电量的 70% 左右是靠核电机组提供的，左图是一位技术员在用肉眼检查法国超凤凰快中子增殖堆燃料元件细棒的焊缝。（来源：IAEA 的 Yoshida；CEA，法国）

受供应和环境条件制约的能源体系过渡

主要问题不是能源的资源，而是能源的废物问题

W. Häfele

目前关于未来能源供应问题的讨论，存在着许多明显的门户之见和意见分歧。对于各种互不相容的立场、相互的质问和完全对立的主张，这里只能作个概略的介绍。从根本上说，它们是能源体系过于复杂及它们与许多方面都有关系的反映，也是某些观察家只顾及某些个别方面而对可能值得同样关注的另一些方面完全视而不见的反映。客观地说，在任何情况下，我们都必须把握每一事物的各个方面及其关联，在能源政策问题上尤应如此。

论据和观点

对目前能源界的一些典型立场和争论进行比较，可能是十分有益的。例如，要求多利用煤炭的主张，从拥有经济上有吸引力的煤矿的国家角度看是合乎逻辑的。美国、苏联和中国都有一些很大的煤矿可供利用。例如，苏联正在西伯利亚，即在克拉斯诺亚尔斯克的坎斯克-阿钦斯克地区开发一个巨大的煤田，其能源含量和波斯湾地区的石油储量一样大。目前，该煤田年产 4000 万吨煤，并计划将年产量提高到 10 亿吨。这样高的生产水平也会影响到相关的基础设施，包括大城市的建设。对中国的煤炭供应潜力，也可作类似的估计。甚至在德意志联邦共和国，也能听到利

用煤炭的呼声，虽然那里增加煤炭利用的条件，象在其他工业化国家里那样，并不都是有利的。然而，任何一种煤炭利用方案，都不可避免地会遇到二氧化碳问题。我指的是地球大气中二氧化碳（煤的燃烧产物）负荷过高带来的威胁。提出甩开煤炭战略的反对论点正是以二氧化碳问题为立论依据的。

另一派提出需要立即放弃核能。显然，这种见解以为核能在今天还没有确立经济地位，但又没有指出应该采取什么样的替代办法。支持核能的论点则指出，即使在今天，核能也已占据电力生产中的相当大一部分，并且没有短期内就能见效的替代办法。

另有一部分人有时轻巧地把核能说成仅仅是一种过渡性解决办法。这里我们不禁要问，究竟要过渡到哪儿去呢？为回答这个问题，我们应当记住，从实用的观点看，用之不竭的非碳能源只有三种，这就是以快中子增殖堆为基础的核能、大规模利用的太阳能和以聚变为基础的核能。任何一种长期战略都逃不出这几种可能性。迄今为止，唯有增殖堆在技术上有现实性。根据眼下的开发研究状况，此刻还无法预料，太阳能和聚变核能在商业上具有竞争性地大规模利用是否能够和何时能够成为现实。

第四派的见解显得特别极端：他们认为节能是解决一切能源问题的关键，并主张只靠被称作“替代能源”的来源供应其余的能源需要。这意味着采取这样一些方案：就地利用太阳能和利用自然环境中的各种可再生能源（例如风能、水能和生物量能）。此外，他们特别强调使能源供应来源分散。当然，我们应当认识到，节能永远是一条经济学规则，因而也是一切能源技术所追求的主要目标。但是，节能充其量也只能有利于能源问题的解决，而不是一种能解决一切问题的办法。对于可再生能源潜力的种种夸大的估计，

Häfele 教授是德意志联邦共和国于希利核研究中心 (KFA) 主任。本文是征得作者同意后根据他于 1988 年 9 月 14 日在多特蒙德大型电厂经营者技术联合会 (VGB) 动力厂大会上提交的论文改写而成。全文 (德文) 刊于 VGB Kraftwerkstechnik, Mitteilungen der VGB Technische Vereinigung der Grosskraftwerksbetreiber e. V., Jahrgang 68, Heft 11 / 88, S. 1089—1097.

也有合理的论据可加以否定。实际上,除了在干旱地区可大规模利用太阳能之外,可再生能源的潜力是相当有限的。

全世界的能源消费量

在这幅充满矛盾的图画中,哪些是我们为制定目标明确的战略而设法搞清事物间的关连时应记取的要点呢?只要研究一下实际的能源供应数据及其发展趋势,就能确定某些实际限值。在这种情况下,能源的一种基本单位即太瓦年(TWa)是很有用的,1 TWa(或 10^9 kWa)相当于10亿吨煤。1987年,石油输出国组织(OPEC)生产并出售了约1 TWa的石油,于智利附近的汉巴赫褐煤露天矿今后50年内可能生产的褐煤也是约1 TWa。

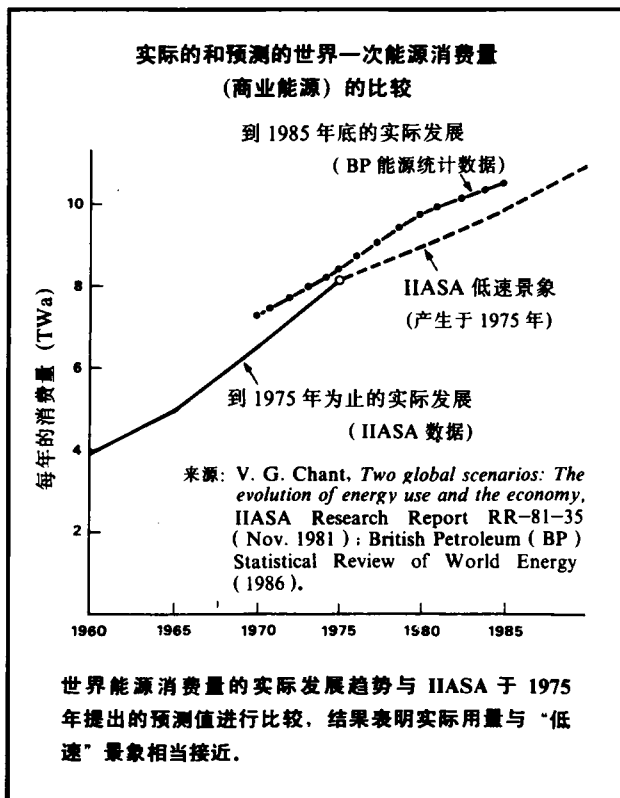
1985年,全世界使用的一次能源达10 TWa左右,其中德意志联邦共和国占358吉瓦年(GWa)。由于某些非商业能源(主要是世界上一些贫困地区用柴草和有机废物作能源)的贡献,这个全球数字还应当稍微加大一点。据世界能源大会节能委员会估计,非商业能源的贡献为1.1 TWa/a。假定1985年世界人口为50亿,那么人均年能源消费量稍多于2 kWa。然而,世界不同地区人口中的实际人均年消费量的差别相当悬殊。在德意志联邦共和国,实际人均年消费量为6 kWa,北美的相应数字约为11 kWa。但是,全世界40%以上的人口,每年只靠0.3 kWa的商业能源过活。

世界人口增长得愈来愈快,这的确是能源供应问题中的一个方面。就可预见的未来而言,我们能够相当准确地预测目前活着的全体居民的年龄分布、出生率与死亡率。到2030年,世界人口将达到约80亿。使用这个数字和2 kWa的人均年消费量,我们就可以算出2030年的世界年能源用量将为16 TWa。这个数字应被看作下限。如果我们假设全体发展中国家的生活水准提高到与西欧的相同,则人均能源用量水平必然提高。若人均用量取不同的假设值,则可以得到一系列的新预测结果,下限为现在世界能源消费量的1.5倍,上限为4倍。

设想的能源景象

我们可以通过考察影响能源消费量的其他变量,即为数众多的技术、经济和社会因素,来改进这些预

测值。这样做时必须包括一些补充假设,但不可任意地补充,而应注意使预测结果成为与假设的各种社会/技术景象相一致的一些看法。这方面的技术术语叫“景象构想”(scenario construction)。这里所说的景象不是预测,而是一种设计,即运用多方面的真知灼见,以今天的观点对可能的前途、方向和远景所作的设想。要求稍高一些的能源景象的构思需要进行大量的工作,因为能源系统与许多方面都有关系,从不同地区的经济环境,直到社会结构和生活方式的各种特性。位于维也纳附近拉克森堡的国际应用系统分析研究所(IIASA),曾在能源领域内进行过广泛的研究。该所研究成果的一部分,是70年代设计出的1975—2030年期间的两种全球能源景象——低速景象和高速景象,作为2030年前对实际发展的一种理论延拓。转眼间已过去10多个年头。实践业已表明,IIASA的能源消费量“低速”发展景象,至少是1975年以来积累的数据的良好下近似值(见附图)。此外,还有一些较新的预测,其中包括设在纽约的世界石油研究所和世界能源大会所作的预测。它们与IIASA“低速”景象的预测结果都相当接近。因此,就此而论,“低速”景象可以作为展望未来的能源供应和废物处置的十分有用的依据。



化石燃料的潜在供应量

化石燃料的潜在供应量，特别是长期的潜在供应问题，必须予以全面考虑。几张已探明能源储量和估计能源储量的简表不足以说明资源状况，因为各种天然矿藏的质量差别很大。例如，原料的类型和浓度、矿床的产额及开发矿床的基础设施等，都是对资源潜在的经济利用有影响的因素。与能源经济直接有关的是能够按照目前的技术经济标准加以利用或生产的那种供应量。如果这类供应量已被确实探明或已在开发，则人们称它为储量。新的储量可来自新发现的矿床，也可来自经济性较差资源的再开发。按照人们对能源供应量的习惯看法，目前可利用的储量最为重要。然而，这些储量目前只占已探明和估计的化石能源储量的很小部分。

在 1987 年 4 月于美国休斯敦举行的第 12 届世界石油大会上，C. D. Masters 介绍了最近对液态和气态碳氢化合物储量与资源重新评估后的结果。（见附表。）他在报告中，把液态和气态碳氢化合物的储量与资源，按有经济价值的与尚无经济价值的分开。把常规的石油和天然气用探明储量和可能储量表示。把重油和焦油、天然沥青和油砂，以及油页岩列入非常规资源。具有代表性的实例是委内瑞拉奥里诺科地区、加拿大阿萨巴斯卡的油砂，以及美国科罗拉多州的油页岩。这些资源与常规油资源不同之处在于质量甚差、含有相当多无用而有毒的物质，因而只有经过昂贵的技术处理之后才能直接利用。当然，如果希望有朝一日能大规模利用这些目前看来价值不高的能源资源，那就必须解决许多技术、经济和生态方面的复杂问题。但是，如果考虑一下相对数量，那么十分清楚，即使现在可利用的储量全部耗尽，也并不意味着化石燃料的利用已到了尽头。相反，能源工业通过开发价值不高的资源和投入新的资本的办法获得新储量的实践，表明逐步向利用非常规化石能源资源过渡是可能的。

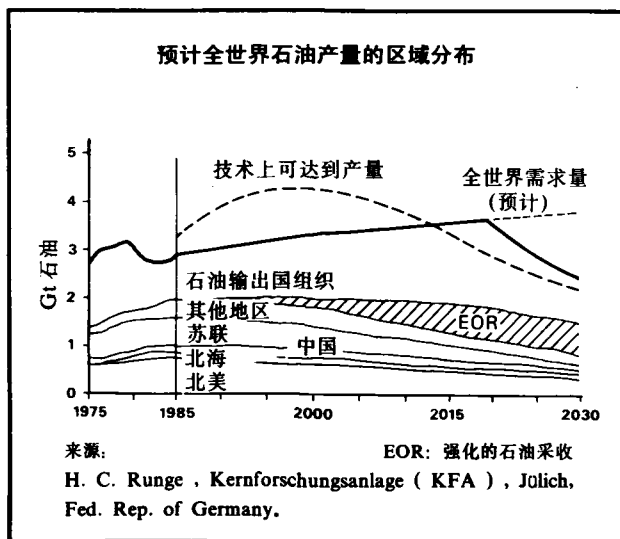
联邦德国于希利核研究中心（KFA）详细地研究过这种过渡所需的经济和技术条件，并特别探讨了在一定时间内完成这种过渡的办法。从总体上看，我们可以说，直到临近 2000 年的这段时期内，世界上对液态碳氢化合物日益增长的需求，完全可以靠常规生产的石油来满足。然而，我们预计，在此期间，世界石油产量的地区分布将发生变化。这是因为某些地区的生产能力有限或生产潜力不断下降，所减少的这

全世界石油 / 天然气和非常规能源的储量和资源

	常 规		非常规
	石 油 (10^9 m^3)	天 然 气 (10^{12} m^3)	重油、油页岩、 天然沥青 (10^9 m^3)
累积生产	83.3	33.2	5.5
探明储量	126.5	110.7	10.0
尚未探明	86.1	119.0	—
探明资源	—	—	656.7
尚未探明	—	—	1700.1
总计	296	263	2372
仍可利用	$\approx 500 \text{ TWa}$		$\approx 3000 \text{ TWa}$

来源：C. D. Masters, 12th World Petroleum Congress, Houston, USA, 1987.

部分产量也要靠其他地区增加的产量来补偿。在这方面，波斯湾地区丰富的油田将具有越来越大的意义。自然，这也意味着石油的供应安全会有弱点。为此，需要在能源战略和能源的设计中及时采取预防措施。在 KFA 的基本景象中，把通过技术进步（例如强化的石油采收（EOR））不断提高生产效率的成果也包括进去了。到 2010 年前后，世界对液态碳氢化合物的需求将不能全部靠常规生产的石油来满足，所以今后若干年须逐步加强对非常规来源的开发。鉴于今后的这种瓶颈形势，我们预计，大约 2000 年后将提前采用一些替代措施。（见附图。）当然，不能把这些年代数字绝对化，只能把它看成定性态势的粗略表示。



上述的开发工作也许提前 5 年或者推后 5 年开始。

从定性的角度看, 常规天然气的需求量和生产量随时间而变化的情况, 也与常规石油类似; 产量不能满足日益增长的需求和出现下降趋势的时间, 估计稍迟于石油的情况, 也许在 2020 年前后, 这是因为天然气市场和储量状况有其特殊性。当然, 对待这些年代数据, 必须象对待石油数据那样, 不要绝对化。

向新格局过渡

根据这些年代数据, 我们能够得出结论: 目前这个大量利用低开发成本高质量天然碳氢化合物蕴藏量的时期, 将在 2010 年到 2030 年间结束。我们还可以有把握地说, 在这以后的很长一段时间里, 人类对高质量碳氢化合物的需求, 可从今天看来价值不高但可以大量获得的来源得到满足。能源体系正处在向新格局过渡之中。

为了能符合资源利用和资源评价的新准则, 必须考虑差别相当大的各种技术、经济和地缘政治的相互影响。这一点不仅就供应来说, 而且就废物处置来说也越来越清楚。我们仍然习惯于燃烧质量较高和较清洁的燃料。然而, 在电站烟道气净化等方面, 我们已经在使用种种排放控制技术, 使环境污染保持在限值以内。再者, 日益增长的能源需求和转向利用低质燃料, 意味着废物数量增加。使用化石燃料过程中释放的二氧化碳数量明显增加就是一例。按 IIASA 的“低速”景象, 到 2030 年, 化石燃料的累积消费量将增加到 633 TWa。其中一部分能量或者说约 400 TWa, 将来自石油和天然气中化学键合碳的燃烧。由这些碳产生的二氧化碳量接近目前大气中包含的二氧化碳量。换句话说, 633 TWa 化石燃料的使用, 意味着大气的二氧化碳含量将近翻一番。一段时间以来, 人们根据种种理由预测, 这种翻番将使地球平均气温升高约 $3 \pm 1.5^\circ\text{C}$ 。两极地区的气温将上升更多, 以至北极和格陵兰大陆冰层的大面积溶化将使海平面升高数米。人们很少把气候变化速率的显著增加看作一种早期征兆。但是, 有一些气象学家偶而也发表这样的见解: 这十年中记录到的气候异常, 可以看成大气严重超负荷的第一批信号。

二氧化碳水平

二氧化碳的“温室效应”, 在物理上可归因于大

气吸收红外辐射能力的增强。这种地球物理过程包含许多起因、效应和反馈机制, 这使得从严格的科学意义上一步一步地处理这一现象, 变得极其困难。因此, 大气二氧化碳含量翻番的结论, 是根据 IIASA “低速”景象的累积消耗量用极其简化的方法算出的。人类活动向大气排放的二氧化碳中, 有一部分或者说其中的一半左右, 将很快也就是说在 10—20 年内被海洋上部的各水层吸收。另一方面, 剩余二氧化碳可能引起的温室效应, 却被人类活动产生的痕量气体(包括含氯氟烃、甲烷和笑气等)大大增强。

海洋上部各层的这种缓解效应, 受到与深海交换过程的滞留时间常数的限制, 因而大气中过多的二氧化碳只能缓慢地减少。根据最新的研究结果, 估计二氧化碳以碳酸盐形式沉入深海, 也就是达到其最终处置状态所需的过渡时间大约为 600—900 年。^{*} 二氧化碳(化石燃料燃烧的主要产物)的这种处置方法的时间模式, 是我们与核废物处置打交道时非常熟悉的。这两个性质不同的问题在这一点上如此相似, 真使人莫明其妙。看来, 世上没有一种能使我们摆脱所有问题的理想解决办法。

多伦多会议

1988 年, 举行了举世瞩目的多伦多会议, 加拿大总理主持开幕式, 会上深入讨论了二氧化碳问题。各国代表对这种严峻形势表示完全理解, 在此基础上, 订立了几项奋斗目标。会议提出要通过强制性措施, 做到在 2005 年把消费者和生产者两方面的二氧化碳排放量各减少 10%。在提出的措施中, 当然包括提高利用效率问题。这是一个一直在做的技术开发课题, 有些措施目前正在付诸实施。此外, 措施中还包括号召多用天然气和石油以代替煤炭, 这在 70 年代是难得听到的。还包括要求生产更多的非化石一次能源, 即要求更充分和更多地利用所谓替代能源, 以及谨慎地进行核能利用的再评价。

我们不应过高或过低估计这些目标。不用花很大力气便可证明, 这些目标也许是不可能达到的。这些目标中表达的东西——这是人们对二氧化碳问题的认识, 是由于对各种地球物理过程知识有了增加才获得的——不应该被人误解。

因此, 问题很明确。究竟允许向大气排放多少二

^{*} 假设它是指数交换时间常数的 2—3 倍。

氧化碳就能被认为在长期内是无危险的呢？这里所说的“无危险”是指各种气候过程的动力学平衡将不受影响。但是，甚至二氧化碳问题的范围也难以准确划定。例如，应该用什么标准度量敏感度呢？在地球的演变过程中，有过几次相当大的气候变化。长期以来，气象学家一直在设法寻找这些特别复杂的问题的答案。为了提出一些论点（自然，这些论点应该是附有条件的，而且只能是近似的和有保留的），我们必须引入一些大型的大气海洋耦合模型，即一些仅在最近时期由于有了大容量的超级计算机才可能写出和运算的计算机程序。

Maier-Reimer 和 Hasselmann 在最近发表的研究报告中，给出了第一个答案。* 他们在报告中指出，每年 2.5 吉吨 (Gt) 碳化学计量当量的二氧化碳排放量（也就是说，今后 100 年每年排放 9.2 Gt 二氧化碳），就可以只导致大气中二氧化碳含量稍许增加。不过没有考虑海洋动植物的影响。这是一种初步的近似值；它的表述是带保留的，也应当有保留地加以接受，因为将来肯定会有变化。总之，目前的排放量是这个值的两倍。1985 年，世界商业能源用量为 10 TWa，造成相当于 5.7 Gt 碳的二氧化碳排放。就 1985 年的典型燃料构成而言，使用 4.3 TWa 的商业能源（相当于该年实际能源消费量的 43%）产生的碳就会超过 2.5 Gt，在讨论扩大还是限制化石燃料的利用时，此类限值必须加以考虑的。

核能的贡献

现在讨论核能，它是我们目前已经掌握的最有效的非化石能源。截至 1987 年年初，经济合作与发展组织 (OECD) 国家有在役核电机组 165 套，装机容量约为 222 吉瓦电 (GWe)。** 其中美国占有的份额特别高。这也是很值得一提的事，因为在德国人中

间流传着一种看法，说什么美国几乎没有核电站。美国人目前正在把早已计划或早已在建造的核电厂，一座接一座地并网。法国也始终不渝地奉行一种大力发展核电的政策，已拥有的装机容量至少相当于美国在役装机容量的 50%。即使在我们德意志联邦共和国和其他国家里，核能也是经济上可观的现实。就核能对整个电力供应正在作出的贡献而言，这一点就更加明显，无论在先进的工业国家，还是按地区和按全世界来说，都是如此。（见附表。）1986 年，核电厂发了 1515 太瓦小时 (TWh) 的电，占全世界总发电量 9849 TWh 的 15.4%。西欧核电在总发电量中的份额达到了 30%，无论就全世界而言，还是与北美相比，都是很突出的。当我们听到人们不管出于何种理由提出抛弃核能的要求时，不得不提出这样的问题：“用什么替代？”如果这个问题得不到回答，这种要求也就不可能被人接受。

核动力厂的发电量，1986 年

	核动力厂 发电量 (TWh)	总发电量 (TWh)	核电份额 (%)
北美	481	3076	15.6
西欧	597	1967	30.3
太平洋地区	166	814	20.5
东欧	198	2134	9.3
亚洲	57	962	6.0
拉丁美洲	5.5	509	1.1
非洲和中东	8.8	386	2.3
世界总计	~1515	~9849	15.4
OECD 国家占 世界总计的份额	1244	5857	21.2

后处理和核燃料供应

核燃料的供应不成问题，首先因为有大量的铀，其次因为有快中子增殖堆。然而，在放射性废物处置方面，更确切地说，在乏燃料元件的有计划处理方面，估计有不少困难。把 OECD 国家乏燃料的年卸料量和现有的后处理能力相比，问题就很清楚。1986 年，OECD 国家内产生了 5300 吨 (t) 乏燃料，其中包含 35 t 应该返回利用的易裂变钚。2000 年时，乏

* “Transport and storage of carbon dioxide in the ocean—an inorganic ocean-circulation carbon cycle model”, by E. Maier-Reimer and K. Hasselmann, *Climate Dynamics*, 2, 63-90 (1987)。

** OECD 成员国是：澳大利亚、奥地利、比利时、加拿大、丹麦、芬兰、法国、德意志联邦共和国、希腊、冰岛、爱尔兰、意大利、日本、卢森堡、荷兰、新西兰、挪威、葡萄牙、西班牙、瑞典、瑞士、土耳其、联合王国和美国。特别资格：南斯拉夫。

燃料产量估计为 8300 t, 相应的易裂变钚为 54 t。OECD 国家 1987 年运行中的后处理能力为 1980 t/a, 如果计划和建造中的后处理设施都能真的投入运行, 后处理能力将增加 2800 t/a, 达到 4780 t/a。即使在最好的情况下, 仅 2000 年一年就会有 3520 t 乏燃料仍然得不到后处理; 如果是最坏的情况, 这个数字将为 6320 t。相应的钚分别为 23 t 和 42 t。如果外推到 2030 年, 将会有几千吨钚得不到返回利用。这些钚是不该以乏燃料形式积存起来的, 应该在反应堆中烧掉, 因为我们无论如何也不能把长期看管乏燃料元件库的问题留给后人。

正如我们已经看到的, 化石燃料燃烧产物的处置也面临许多困难, 尽管它们在性质上与核废物不同。性质不同的事物确实难以比较。然而, 如果我们想要根据客观的标准进行判断和作出决定, 我们就必须对各个方面的相应优缺点进行比较和衡量。从这一观点出发, 看一下需要处置的废物量也许是有益的。

如果完全依靠核能每年生产 10 TWa 的电, 那么每年将产生 4680 t 放射性废物, 这是一个合理的和技术上可处置的量。比较起来, 在仅由化石能源供应的情况下, 每年将排放 21 Gt 二氧化碳, 相当于每年向大气排放 5.7 Gt 碳。因此, 化石能和核能的废物比为 10^6 比 1。对核废物的管理虽然要求特别小心谨慎, 但正如我们所知, 对待二氧化碳问题同样是不能掉以轻心的。

可供选择的能源方案

正如我们已经看到的, 液态和气态碳氢化合物虽然有可能继续长期利用, 但有明显的局限性, 也许至多每年贡献 4—5 TWa。当然我们不必把它们的使用量减少到零。

从今天的观点看, 每年能供应 10 TWa 以上非碳一次能源的供应来源有三种 (也只有这三种) 选择。如本文开头所述, 它们是快中子增殖堆、大规模利用太阳能和聚变能。

就每年生产约 1 TWa 的非碳一次能源而言, 可以考虑水力、风能和太阳能 (局部利用) 等 “替代” 能源。它们的生产潜力约为目前世界能源用量的 10%。因此, 它们不是真正的替代能源, 而只能算作辅助能源。

由于最近有关可再生能源的评估结果有了一些变化, 因而人们对它们的实际经济意义开始有了正确的

看法。关于德意志联邦共和国所能挖掘的可再生能源潜力, 已反复做过调研, 而评估结果是一次比一次低。在最适宜于使用替代能源的一些景象中, 节能已上升为中心课题, 这不是偶然的, 但必须让节能成为利用替代能源的整个供应体系的一种特性。

节能课题已被某些人搞偏, 他们一方面提出一些空想的节约目标, 另一方面却要求有切实可行的节约潜力。显然, 我们必须考虑什么是必要的或合理的能源消耗。当然, 世界人口的人均年消费量差别甚大: 从最贫困者勉强维持生计的最低水平 0.6 kWa (0.3 kWa 商业能源加 0.3 kWa 柴草), 到北美人的 11 kWa, 相差 20 倍。

就能源消费量而言, 我们必须认识到, 能源利用的效果 (即能源服务效果) 取决于许多生产因素, 如基本投资、劳力、知识和技能等。这些因素可部分地互换, 也就是说, 通过有关因素的合理组合, 同一结局能以差别相当大的方式达到。如果相应地增加投资、劳力和工程技术知识的投入量, 那么投入少得多的能源也可能取得同样的能源服务效果。这一事实并不总是被人们普遍认识到的。当我们今天讲到高效能源技术或节能潜力时, 通常指的就是用资金 “换取” 能源。资金要求和把有限资金用在刀刃上的问题通常成了次要的东西。因此, 关于节能潜力的考虑不是一个纯粹的物理/技术问题, 而是一个技术、经济和社会因素都纠缠在一起的问题。对于已讨论很多的能源需求课题; 也应当作同样的理解。

安排轻重缓急

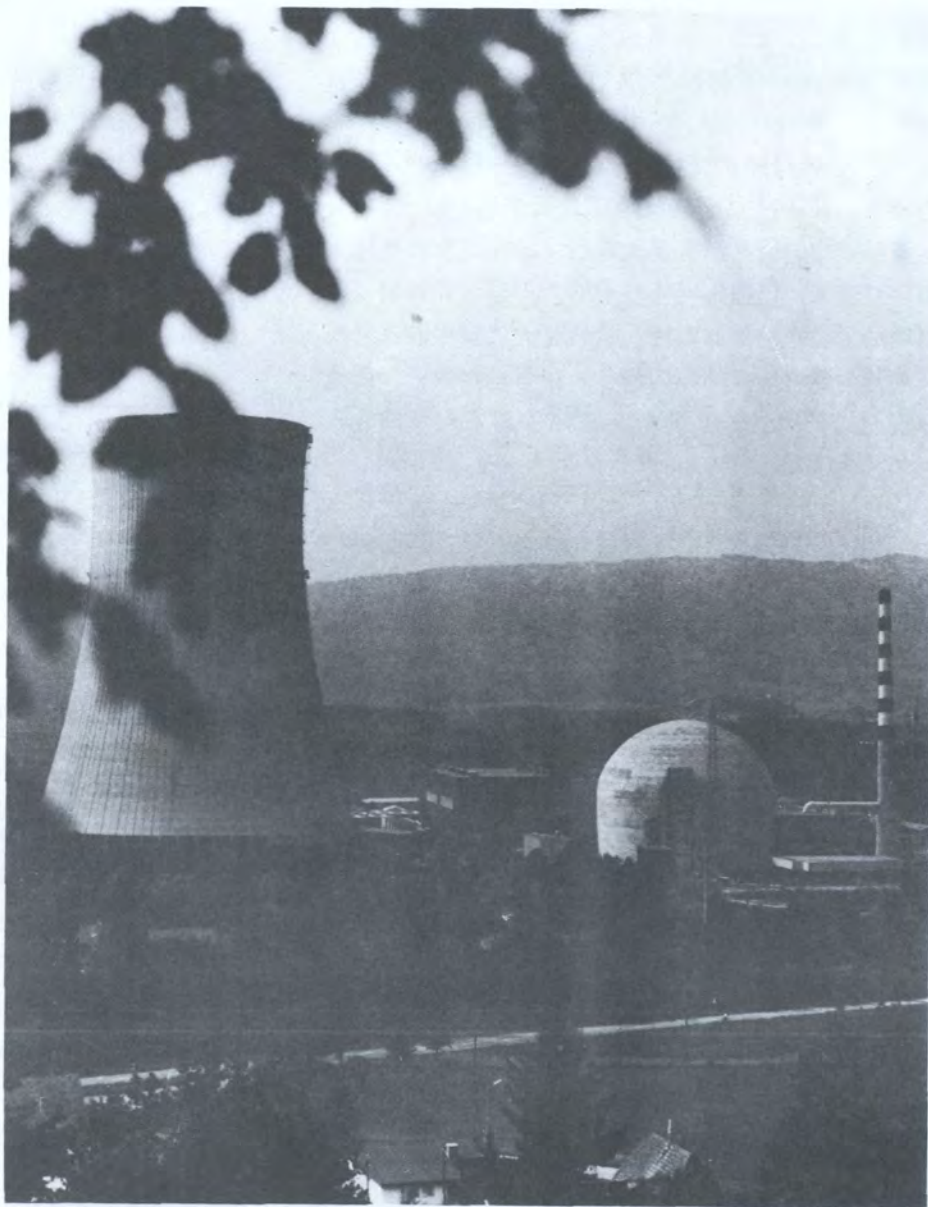
如果目标是克服门户之见和种种意见分歧, 那么正确的方向和前景是什么呢? 是不是把各种意见加起来就行了呢? 全局多半大于各个局部之总和。因此, 必须安排轻重缓急, 而且按不同的时间阶段进行安排。能源技术眼下的最紧迫任务, 是减少对环境的污染, 尤其是减少氮的氧化物和二氧化碳的排放。在不到 50 年的时间内, 将出现二氧化碳污染的紧急情况。大气中二氧化碳达到临界浓度的时间是与常规石油和天然气的供应时限相吻合的。我们没有讨论如何开发建立贫碳的、对环境无危险的能源体系所需的技术。这一技术的开发要用 100—140 年, 并且要有目标明确的过渡战略。这种开发主要包括引入氢, 连同原先的电力一起作为二次能源的载体, 一次能源的供应则主要靠非碳能源。非常规化石燃料的供应至少

将持续 250 年。

减少预料中的二氧化碳排放量要用 50 年左右的时间。通过海洋上部各层与深海（大气二氧化碳的最终处置库）的不断交换，大气中来自人类活动二氧化碳含量的减少需要 500—1000 年的时间，这是大家熟悉的放射性废物典型衰变时间的变动范围。以增殖堆或聚变能为基础的能源供应，有可能持续大约 15 000 年，太阳能的供应时间将为几十亿年。在这些

条件下，我们可以看到，主要问题不是我们在 70 年代里想过的资源问题，而是相当紧迫的化石燃料燃烧产物的处置问题。

我认为这幅图画尽管是戏剧性的，但为解决门户之见和种种意见分歧指出了一些方向。如果我们想要回过头来对各种能源之间的相互关系进行冷静的评价，从而采取合理和负责的行动，我们就必须把握住这些方向。



瑞士戈斯根电站。（来源：
Siemens）