

温室气体和核燃料循环：排放量究竟多大？

研究表明，与电力的其它来源相比，核能几乎不向我们的环境释放二氧化碳或甲烷

Martin Taylor

当20世纪80年代末人们开始关注温室效应时，这个话题很快成了公众争论不同电力来源的相对优缺点时的一个日益重要因素。核电的情况看来是很清楚的，与化石燃料相比，它不排放任何温室气体(GHG)。当然，人们知道核燃料循环设施中使用的某些能源本身来自化石燃料，但它所产生的温室气体数量不大，这一点看来也是不言而喻的。然而，有一些反对核工业的人曾提出这样一种观点，即核燃料循环各阶段的二氧化碳(CO₂)排放量很大，甚至其数量级可以同燃烧化石燃料所产生的CO₂量相当。虽然这显然是一种无根据的假设，但它曾被一些国家中的其他反核团体反复引用。

因而，尽管核电间接产生大量CO₂的这一论点，看来明明是错的，但铀协会(UI)仍决定研究这些断言，并试图用比较详细的数据反驳它们。下面是我们进行这种调查的结果的摘要。

核燃料循环和CO₂

提出核电间接地(通过其燃料循环)排

Taylor先生供职于铀协会。(地址：12th Floor, Bowater House, 114 Knightsbridge, London SW1X 7LJ)。本文的写作基础是载于1996年7月印发的一份IAEA技术文件：《从全部能量链的温室气体排放因子角度比较各种能源》(IAEA-TECDOC 892)中的一篇报告。参考书目可向作者索取。

放大量CO₂这个观点的文章，是“地球之友”在联合王国对建造拟议中的欣克利角压水堆进行公众调查时提出的，作者是Nigel Mortimer博士。这篇文章曾被人们非常广泛地引用过，其他几个消息来源也把这篇文章作为支持其核电间接产生大量CO₂这个断言的依据。该论点是以这样一条假定为基础的，即若核能的使用量真的大大增加，则已知的铀资源会很快耗竭。这将导致使用低品位的铀矿，从而使CO₂排放量增加，因为从低品位矿石中提取铀会需要更多的化石能源。Mortimer坚决认为CO₂排放量有可能在二三十年内达到与燃煤电站的CO₂排放量相同的数量级。

此论点有许多漏洞，AEA技术公司的Donaldson和Betteridge提出了详细的反驳意见。特别是Mortimer假定不会再找到低成本铀储量，而实际上，核电建设的再度兴起和铀需求的回升将导致勘探增加和发现附加的资源。另外，核电的任何大的发展(如Mortimer所假定的那样)，在二三十年内，都将涉及再循环的增加利用和快堆的商用化。不管怎样，即使我们假定2000年后核电容量将适度增长，我们也可以计算出，如今已探明的相对较低成本的资源(品位相当高的矿石)足够用到2020年以后。

1992年，全世界核电装机容量约323 GWe，每年需要55000吨铀(tU)。铀协会预计到2000年核电装机容量将达到360 GWe，需要约64000 tU/年。如果我们假定，例如，核电装机容量在2001到2010年期间

每年增加 20 GWe, 在 2011 到 2020 年期间, 每年增加 30 GWe, 那么核电总装机容量到 2010 年将达到 560 GWe, 到 2020 年将达到 860 GWe。若每年每 GWe 容量需要 160 tU, 那么累积的铀需求总量到 2010 年约为 67 万 tU, 而到 2020 年接近 250 万 tU。

相比之下, 铀协会对世界铀资源的一项评价估计, 已探明的低成本铀资源总量超过 300 万 tU。其中 200 多万 tU 是“西方世界”的资源, 100 多万 tU 在前苏联、中欧、东欧及中国。

因而, 可以看出核电将会大量排放 CO₂ 的假设是建立在极不可能的情景之上的。他们设想的这一情景必然会有大规模的建新核电站的计划, 规模大到足以很快地用尽已探明的铀资源, 而且即使在额外经济铀资源无重大发现的情况下, 该计划也继续下去。并设想即使几十年以后, 也不会出现大量再循环或使用快堆的迹象。

同其它能量来源的比较

铀协会随后审视了, 在评估核燃料循环的 CO₂ 排放量的实际水平以及将其与化石燃料发电产生的 CO₂ 进行比较方面已做过的为数不多的研究工作所获得的结果。德国和美国分别所做的研究似乎准确地指出了这些排放量的数量级。

由德国电力公司协会 VDEW 的 Weis、Kienle 和 Hortmann 所做的一项详细研究, 估计了前西德核燃料循环的 CO₂ 排放量。他们计算了核燃料循环的每个阶段使用的能量的多少, 分析了使用的能量的实际来源(即煤、核、水力等), 然后计算出了由此产生的 CO₂ 排放量。他们还特别指出了这样一个事实, 即由于提高了效率, 近年来核燃料循环的能耗已大幅度下降。该研究的结论是, 制备供德国反应堆使用的燃料过程中用掉的能量, 是此燃料将在核电机组中产生的电能的 0.7%。迄今为止, 这部分能耗中绝大部分是富集厂的电消耗, 仅一小部分是铀矿开采消耗。根据德国电力公司实际使用的能源, 这部分能耗所产生的 CO₂ 排放量约是同

德国核燃料循环各阶段的 CO₂ 排放量

核燃料循环过程	单位能耗 (kWh/kg 天然铀)	能耗占电能的百分率	能耗所产生的单位 CO ₂ 排放量(kg CO ₂ /kg 天然铀)	每年给一座典型的 1300 MWe 轻水堆提供燃料产生的 CO ₂ 排放量(吨)
采矿和水冶	59	0.1	47	9100
转化	7	0.01	<7	<1400
富集	310	0.6	140	27200
燃料制造	7	0.01	3	600
总计	383	0.7	197	38300

来源: “Kernenergie und CO₂: Energie-aufwand und CO₂-Emissionen bei der Brennstoffgewinnung”, *Elektrizitätswirtschaft* Jg 89 (1990)。

等装机容量的燃煤电站产生的 CO₂ 排放量的 0.5%。(见表。)

该研究还提到, 由于更多地使用气体离心富集法而不是扩散法, 并露天开采铀含量高的矿山(例如在加拿大), 将来(德国)来自核电的 CO₂ 排放量将会减少。然而, 它指出, 由于铀矿开采和水冶的能耗仅占整个核燃料循环的能耗的 15%, 因而即使这部分的变化很大对总能耗的影响也并不大。

美国能源意识委员会(现为核能研究所)科学概念部完成了另一项分析。该研究在假定对 CO₂ 排放量的唯一的重大贡献来自富集阶段(不考虑燃料循环的其他阶段)消耗的能量的基础上, 计算了归因于美国核电厂的 CO₂ 排放量。假定美国核电总装机容量约 100 GWe, 每年需要大约 1200 万分离功单位(SWU), 而且每 SWU 需要 2500 kWh 的电(使用气体扩散工艺), 因此富集工作每年需要的总电量约为 300 亿 kWh。在对铀进行富集的地区, 65%的电是煤产生的, 6%是天然气产生的, 29%是核和水力产生的。因而该项研究的结论是, 核电产生的排放量约为同等煤电的 4%。

德国的数字和美国的数字不同的主要原因是, 美国的富集实际上全是气体扩散法, 而德国仅 17%的富集是在扩散厂中进行

的。离心机的能耗低,是 CO₂ 排放量较小的原因所在。将来采用激光富集技术(现正在开发)后能耗会比使用离心机时更低。

甲烷排放量和铀矿开采

铀协会还研究了铀矿开采可能产生的甲烷排放量。尽管它同化石燃料产生的甲烷排放量相比是微不足道的这一点看来也是不言而喻的,但铀协会还是决定研究一下现有的证据。

总的来说,甲烷是由有机物质的分解形成的。当这类有机物质被封闭在地表以下时,甲烷本身常常滞留在地下岩石的小缝隙中。在这些地方采矿,会使甲烷逃逸出来,若不将它收集起来,它就会跑到大气中。地下煤层不可避免地含有大量甲烷。在某些情况下,将煤矿中的甲烷收集起来并当作燃料使用是可能的;然而,在多数矿井中,甲烷总是被通风系统排入大气。甲烷也能从其他类型的与有机物质有关的岩石的采矿作业中释放出来。从可能性的角度讲,在某些地区开采铀可能会排放一些甲烷。然而,这类排放量很稀少,所以几乎没有人进行过研究。本报告所依据的这方面的资料与澳大利亚、加拿大和美国有关,这三个国家的铀产量占世界铀产量的 40% 左右。

在澳大利亚和加拿大,尽管各地下矿都例行地监测爆炸性气体(包括甲烷),但看来在任何一座铀矿中都一直未曾探测到爆炸性气体。这些国家的地下铀矿均产于非常古老的岩石建造中,实际上不含任何有机物质。在美国,有资料显示在一座地下铀矿中曾探测到甲烷。这座铀矿于 1988 年 9 月关闭,似乎是美国近期唯一的一个产生甲烷的铀矿。探测到甲烷的这座铀矿是位于犹他州拉萨尔的、由 Rio Algom 公司经营的 Lisbon 矿。该矿在 1973 年发生一起着火事件及随后探测到甲烷后被美国劳工部矿业安全和健康署(MSHA)划为“瓦斯矿”。1979 年又发生了一起喷发甲烷事件。1978 年 12 月对该矿的状况进行了调查,MSHA 在调查报告中说,当时的甲烷总逸出率为 91920 ft³/天

(2600 m³/d)。由 MSHA 工作人员写的一篇有关甲烷现象的文章提供了每开采 1 吨矿石的甲烷排放量估计值。就 Lisbon 矿来说,该估计值约为 100 ft³/t(3 m³/t)。

除上述资料外,铀协会未找到有关任何国家有类似甲烷问题的铀矿的报告。我们在已发表的资料中也没有发现别的提及铀矿开采引起甲烷排放之处。当然这并不排除别处存在着产生甲烷的事例的可能性,但这类事例的数量似乎总是极少的。

应当指出是,就此而言在前苏联及其他一些国家中几乎没有有关铀矿开采的历史资料。因而铀协会不可能知道那里的铀矿开采产生多大的甲烷排放量。

潜在的甲烷排放量。上述资料仅涉及实际存在的(已关闭的和正在运营的)铀矿,不涉及尚未开采的铀矿床可能产生的甲烷排放量。铀矿床确实存在于不同的地质建造中,这样的地质建造种类繁多,包括含碳岩石,但品位常常很低,无法经济地回收。过去曾研究过从低品位煤中提取铀的可行性。实际上,在 1963—1967 年期间,位于美国北达科他州、南达科他州和蒙大拿州的威利斯顿盆地的几个小矿曾用伴生有褐煤的矿石生产铀,这样的矿石可能含有甲烷。然而,这类矿床在总的铀储量中占的比例不大,并且无论如何不可能在可预见的将来变得有经济意义。

结论

对普遍存在于两个不同国家中的不同条件下的核燃料循环产生的 CO₂ 排放量的研究表明,它们约是同等燃煤发电装机容量的 CO₂ 排放量的 0.5—4%。核能间接产生大量 CO₂ 的断言是建立在非常不可能的情景基础之上的。关于甲烷,上述资料指出大部分铀的生产几乎不伴生或根本不伴生甲烷。在个别的情况下,甲烷也许与铀矿开采和含铀矿石相伴生。但考虑到全世界的铀生产每年只涉及到开采不到 1000 万吨矿石,同每年生产约 45 亿吨煤相比,铀矿开采产生的甲烷完全可以忽略不计。 □