能源系统的长期健康和环境影响

关注未来

ARI RABL 和 MONA DREICER

所有电力生产系统对生活在今天的人们及其子孙后代，都有一些健康和环境方面的影响。我们目前掌握的知识表明，有些影响可能在遥远的未来出现，因此在评估能源方案时应将它们考虑进去。

然而，对后代可能产生的影响由于所涉及的时间跨度长，评估起来很困难，于是这个问题一直没有得到解决，但应当加以解决。尽管资料有限，还是应当对可能造成的负担进行分析，特别是因为后代不可能参与做出可能影响他们生活的决定。目前，对长寿命放射性核素、全球变暖、严重核事故、废物处置、土地使用和资源枯竭的影响进行评估，据认为对后代至关重要。

要考虑将来的影响，恰当的作法是确定几个时段。做出决定的现在这一代与后代之间没有明确的时间界定，因此假定这一时间间隔约为50年。最重要的长期影响之一——全球变暖，可能将延续几个世纪。其它影响，尤其是长寿命放射性核素的影响，可达几千或几百万年。由于我们研究的未来愈远量化评估的不确定性愈会大大增加，因此应按不同时段分别报告研究结果。可以按全球变暖的情况为不远的将来设定一个自然水平。即使时段不可能明确界定，但100或200年的时段被认为是合适的。

照片：德国的一个燃煤电厂（来源：西门子）

未来的主要影响是什么？

全球扩散的放射性核

Rabl 先生是法国巴黎矿业学校能源中心科学负责人，美国科罗拉多大学土木工程系研究员。Dreicer 女士是美国华盛顿特区环境评估顾问。

长期气候变化造成的损失估计

损失类型	损失指标	欧盟	美国	前苏联	中国	非经合组织	经合组织	世界
农业	福利费用下降(% GDP)	0.21	0.16	0.24	2.10	0.28	0.17	0.23
林业	森林面积损失(km^2)	52	282	908	121	334	901	1235
渔业	减少的捕捞量(1000 吨)	558	452	814	464	4326	2503	6829
能源	电力需求的增加量(TWh)	54.2	92.0	54.6	17.1	142.7	211.2	353.9
水	减少的水获取量(km^3)	15.3	32.7	24.7	32.2	168.5	62.2	230.7
海岸保护	每年投资费用(百万美元/年)	133	176	51	24	514	493	1007
干地损失	面积损失(1000 km^2)	1.6	10.7	23.9	0	99.5	40.4	139.9
湿地损失	面积损失(1000 km^2)	9.9	11.1	9.8	11.9	219.1	33.9	253.0
生态系统损失	假定有2%损失的保护区的数目	16	8	缺	4	53	53	106
健康/死亡数	死亡人数 (1000 人)	8.8	6.6	7.7	29.4	114.8	22.9	137.7
空气污染								
热带 O_3	(1000 吨氮氧化物)	566	1073	1584	227	2602	1943	4545
SO_2	(1000 吨硫)	285	422	1100	258	1864	873	2737
移居	额外移民 (1000 人)	229	100	153	583	2279	455	2734
飓风								
伤亡	死亡人数	0	72	44	779	7687	313	8000
损失	百万美元	0	115	1	13	124	506	630

注:按未来二氧化碳释放量翻番估计的损失(温度升高 2.5℃)。

来源:*S. Fankhauser, "Valuing Climate Change", the Economics of the Greenhouse, Earthscan, London* (1995)。根据政府间气候变化小组(*IPCC*)的数据制成。

素。核动力生产释放出的放射性核素中,碘-129 和碳-14 这两种核素通常在全球范围分散并有足够长的半衰期,对评价未来的影响很重要。碘-129 的半衰期约为 1600 万年,极易进入稳定碘的全球循环。碳-14 的半衰期为 5710 年,将混入全球碳循环。

对遥远未来子孙后代的影响主要归结于,增加的低水平辐射照射造成致命癌病例和遗传效应的可能增加。尽管个人照射概率和有害效应非常小,但许多代受照射的大量人的集体概率(虽然个人剂量很小)会达到一个不可忽视总的绝对值。这类计算是否真有根据是科学辐射防护界广泛争论的一件事,因为实际危险可能为零。

遗传影响比可能诱发癌的危险要小得多,这在诸如欧洲委员会 1995 年的 ExternE项目等其它研究成果中可得到更详细的解释。

全球变暖。全球变暖现在被视为是化石燃料燃烧产生的温室气体 CO_2 引起的可能最重要的环境影响之一。另一种与能源有关的温室气体——甲烷(CH_4),在煤炭开采过程中或天然气系统泄漏中释放出来;甲烷还可从洪水过后及水电项目建成后的无氧发酵中释放出来。即使甲烷的释放量很小(现代化天燃气系统的泄漏率低于 1%),它们的影响也可能很大,因为甲烷使全球变暖的能力是 CO_2 的 20－50 倍。

尽管由于自然的易变性和所得数据的不确定性,我们目前量化人类对全球气候的影响的能力有限,但政府间气候变化小组报告说:"大部分证据表明,人类对全球气候有显而易见的影响"。许多人的共识是,大气温室气体浓度的相对增加对气候可能有许多大的影响。这些影响会作用在受其它形式污染

影响的同一人类和环境受体上。全球变暖影响非常不确定，而且将在较长时期内出现，因此很难量化。

长时期气候变化导致的损失，可用一套损失指标以实体形式表示。（见表。）

严重事故。严重事故将向环境释放出额外的污染物。对人类健康的潜在影响可以考虑到遥远的未来（一般到1万年以上）。灾难性事故释放给子孙后代增加的全球照射量，与日常运行产生的照射量相比一般很小。部分原因是由于任何长寿命放射性核素都更多地分布在当地，而且预计发生这类事故的频度很低。非核能系统的事故预计对未来不会有很大的影响。例如，石油泄漏的影响会在几十年后消失。

废物。能源系统产生的废物含有环境半寿期范围很广的物质。在考虑对遥远未来的影响时，分析家们关注的是长寿命放射性核素、非核废物中的长寿命物质（持久有机物），以及永久存在的物质（有毒金属）。

当今产生的废物对遥远未来的影响，应根据现在的废物管理方案加以考虑。潜在的影响和费用，取决于废物的处置方法。废物处置对遥远未来的影响水平很大程度上取决于两个关键问题，一是处置库场址的选择和技术（例如，掩埋、近地表专设设施或地质处置库）；和处置库的管理（有监测或无监测、可回取或不可回取）。

对未来的影响依赖于现在和将来对处置库如何管理，因此进行任何评估都必须假定废物管理情景。过去进行的大多数比较危险评估研究，都选定不可回取（永久处置）方案研究有害废物和放射性废物。

采用不可回取处置方法，导致许多类型的废物（不仅是核废物）在遥远的未来产生潜在影响。各种计算表明，相对于人们每天愿意容忍的危险类型来说，高放废物处置库释放导致将来出现的损失不会太大。但正是这种释放的可能性引起部分公众的强烈恐惧，并且仍是反对核动力的主要论据之一。非放射性有毒废物对将来的潜在影响一直没有如此详细地研究过，尽管它们可以是长寿命的且通常在地表处置。

关于对遥远未来影响的可能性，针对不同类型处置一直在考虑的一个备选方法是可回取贮存，从而给了子孙后代一种改进目前废物管理方法学的选择方案。这种做法的根据是子孙后代很可能有更好的技术，来处理废物处置的问题（例如，放射性废物的嬗变可想象变得实际可行）。

土地使用。电力生产及供应需要而且还将继续需要使用土地，因而对可用于其它目的的土地的量产生影响。虽然有人说这些影响将来可能是可倒转的，但一些实际经验，如美国非常资金清理利用被污染土地的活动已表明，即使以现有的技术进行工作，也将缺少处理这类问题所需要的资源和政治意志。对土地的影响可能是在决策能源政策时要考虑的最有争议的和在社会上反响最大的影响之一。在遥远的未来可能会产生很大的社会费用。

资源枯竭。目前的电力生产方法主要消耗不可再生资源——化石燃料和铀。化石燃料可能要比铀耗尽得快。有数据表明，目前已确定的石油和天然气资源在下个世纪的某个时候将变得稀少。煤储量估计在几百年内也将枯竭。

考虑到这些情况，可以猜测未来电力生产业将发生诸多变化：

- 可利用资源的价格各异，低品位材料的开发利用增加，环境影响可能加剧；
- 能源生产和利用效率提高；
- 可再生能源的开发利用增加；
- 转向快增殖核反应堆

等新技术；

■塑料生产原材料从石油转向其他替代物。

由于大多数决策者看得不远，可能没有对一些遥远未来影响和资源枯竭成本进行考虑；但这类影响比其他已经探讨过的影响更易量化处理。

利用宏观经济学方法，可对资源逐渐枯竭进行分析，模型可以模拟价格变化的影响。我们必须牢记，预计的结果对所做的关于未来技术进步和结构调整的假设很敏感。那些支配可持续发展的原则表明，应该为资源枯竭确定一个合理的速率，以保证现在的经济增长率和各种资源的长期可利用性。

权衡各种影响

不同电力生产方法对社会产生的影响的评估结果表明，其严重性或重要性不尽相同。比较危险评估的关键问题是找出一个可在不同类型影响间进行直接比较的，衡量影响或危险的共同尺度。

大多数影响（例如癌数量增加同海平面升高）是不能直接比较的。使用单一的尺度使它们变得可比是一种大的简化；其结果可能是指导性的，但也可能是误导。

包含影响的价值或权重的机制（对于前者，货币估算是一种可能的方法；对于后者，多标准权重是一种可能的方法），是职业分析家数十年来一直考虑的问题。如果再考虑到对子孙后代的影响，这一问题会更为复杂。除要量化在遥远未来可能发生的危险的水平外，分析家还需要考虑子孙后代能否接受今天产生的那些危险。目前，对这些问题尚没有理想的解决方法或答案。

货币估算法从对健康、环境和社会影响的估算入手，并根据它们对社会的重要性水平赋予经济价值。非市场商品如人的健康和生命，可以根据各人喜好（付款意愿）估价。

为了与现在货币值等价地表示未来货币值，使用了标准的贴现经济手段。对于当代人（近期的未来影响）来说的贴现，普遍接受的适宜的贴现率是社会贴现率，一般在3%—8%范围内，取决于对市场的观察。为检验选择某个社会贴现率的敏感性，关于能源系统外部成本的两项研究（欧洲委员会及橡树岭国家实验室的未来资源研究）选择3%做为中心值，并示出与0%和10%相应的最终结果的范围。

如果用贴现来评估对遥远未来的影响，那么贴现率的选择尤为重要。除非贴现率很近于零，否则贴现能够将遥远未来子孙世代的支出减少到可以忽略的水平。另一个关键问题是未来的技术进步（如医疗），能否大幅度降低现在认为重要的那些危险。因此，世代贴现一直是一个有争议的论题。在计算结果被认为是可接受的之前，必须解决贴现到可以忽略的水平的支出是否充分反映社会感觉到的份量的问题。

另一个要考虑的重要问题是危险是自愿的还是非自愿的。施加于子孙后代的危险似乎是非自愿的。但是，如果这些危险变得明显起来，则可以通过采取适当措施加以避免或减轻。

例如，如果子孙后代继续监测并维持一个设计良好的核废物处置场的完整性，那么该处置场的危险可以维持在可忽略的水平，从而避免任何废物排入环境。

尽管量化有关能源生产系统决策的可能影响和成本困难重重，但比较评估却是很有价值的工具。它们是满足当代人和子孙后代最大利益的努力中不容忽视的决策过程的重要组成部分。 □