

能源系统排放物的比较评估

利益与负担

ANDRZEJ STRUPCZEWSKI

电力的利用,从改进食品生产与分配到确保医疗与教育,在各方面帮助人们满足其需要。从消费者实际使用电力的角度来说,电力供应通常被看作是清洁且有益的过程。

然而,在生产电力时,却向环境释放了各种各样的物质,其中一些物质对人体健康构成危害。过去十年中,人类对包括各种能源系统造成的空气污染在内的环境问题已有更多了解。

为了研究这些影响,分析家们正在利用已取得很大进展的比较危险评估方法。

90年代初,欧洲委员会(EC)发起并成功实施了一项称为 ExternE 的特别项目,目的在于确定由社会承受的各种能源系统的外部成本(其中大部分是保健成本)。

到 1995 年项目第一阶段结束时,来自一些国家对特定系统最有经验的专家对

每种能源系统的外部成本都进行了评价(如德国与英国专家组评价煤电,挪威专家评价水电)。

在项目第二阶段,也是最后阶段,由每个国家对与其相关的各种能源系统做出单独分析。这些研究的结果作为国家报告今天可从 EC 获取,为能源系统的比较危险评估提供最佳数据。

空气污染和辐射释放物

传统空气污染物,例如大城市与工业区中小微粒、硫氧化物和氮的氧化物的浓度,现在比历史上通常认为是自然而然的本底水平要高很多。

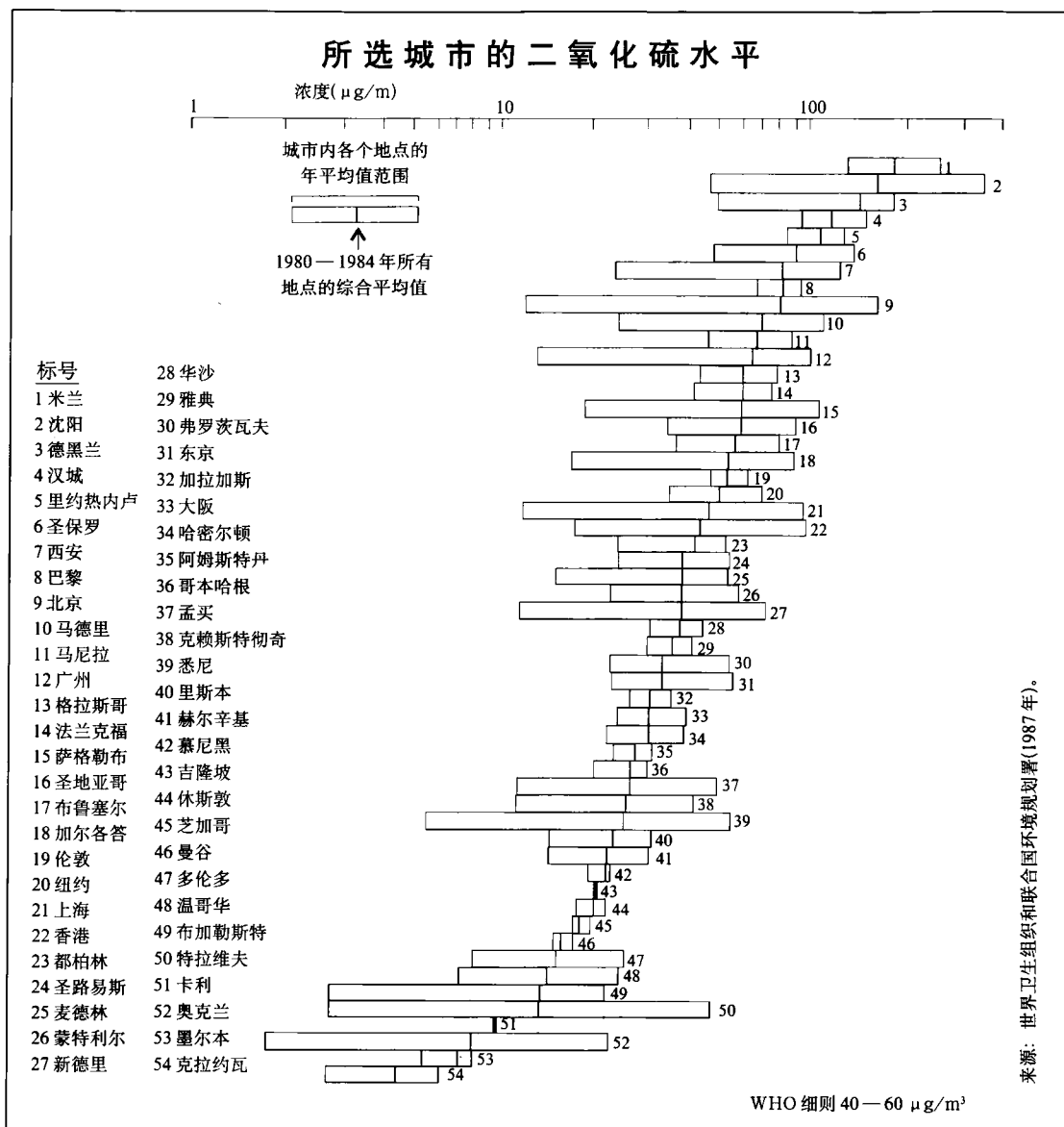
一些研究工作将测得的二氧化硫(化石燃料燃烧产生的典型的污染物)浓度,和远离工业中心地区的本底浓度及世界卫生组织(WHO)规定的容许浓度作了比较。(见第 20 页图。)

经济合作与发展组织(OECD)对化石燃料所做的一项研究估计,这种污染物 50%是能源生产中燃烧化石燃料造成的。

对其它能源来源也进行了研究,包括主要是在发展中国家用于家庭目的(如做饭和取暖)的有机材料燃料。

OECD 的国际能源机构提供的资料显示,1995 年生物能总消费量为 930 吨石油当量(Mtoe),全世界至少三分之一的人口以生物能为其主要能源来源。除了不加选择地燃烧森林和灌木林给环境带来的损害之外,室内使用生物能也造成了非常严重的空气污染,导致急性呼吸道感染和肺癌的发生。发展中国家因燃烧生物能造成的死亡人数很多。

Strupczewski 先生是 IAEA 核设施安全处职员。



例如在中国,上亿个家用炉子成为室内高浓度污染物的来源,相应增高的慢性肺内障碍疾病、肺癌、心脏冠状疾病和儿童肺炎估计每年会造成 140 多万例过早死亡。

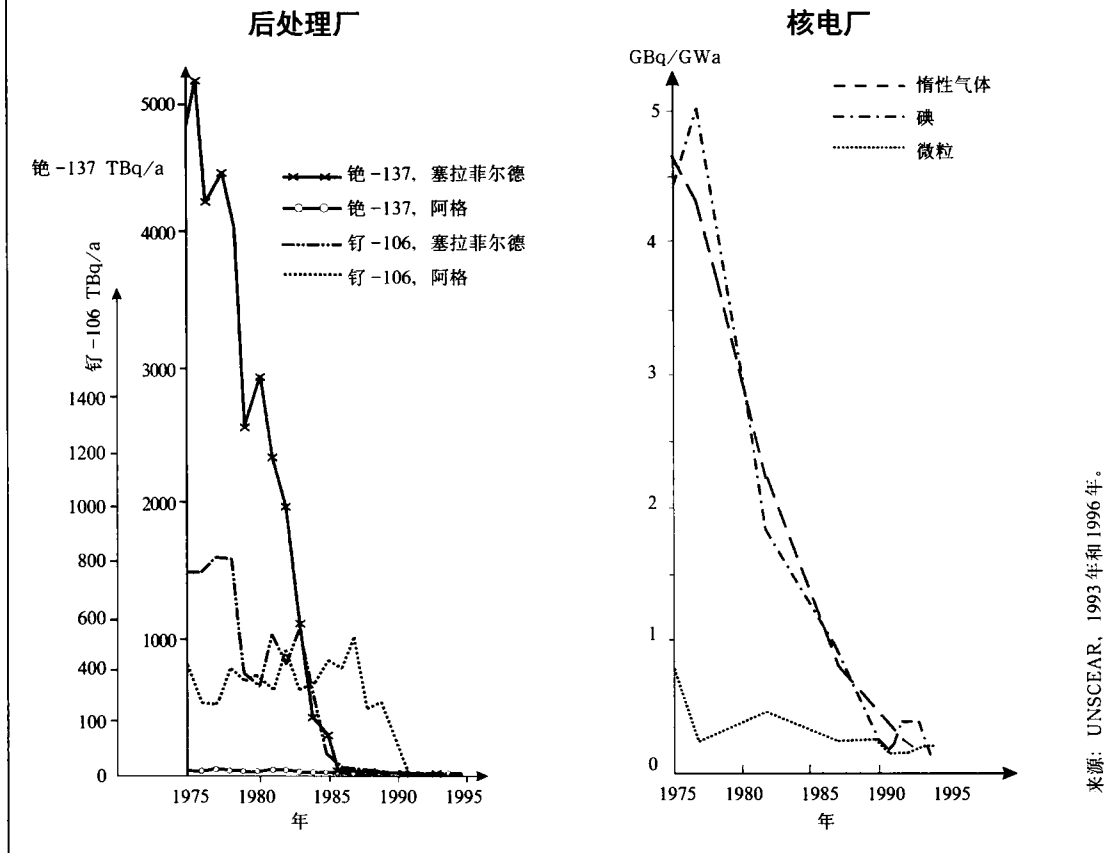
另一方面,核电站常规运行给居民带来的附加辐射剂量仅占天然本底变化量的

很小部分。许多大的区域内的天然本底辐射水平,从低于每年 2 毫希(mSv/a)到 5 mSv/a 不等。来自核动力的附加辐射剂量通常为 1 至 3 $\mu\text{Sv}/\text{a}$,或为天然本底辐射水平变化量的 1/1000。

有关接受低辐射剂量的不同人群组的大规模研究,已在几个国家进行。

它们包括对中国高本底辐射的阳江地区约 80 000 居民,和天然本底辐射水平低很多的邻近地区数量相当的对照居民进行的大规模流行病学研究。1997 年的研究发现,高本底辐射地区的癌死亡率较对照地区低。这一研究的统计置信度经评定不足以量化研究结论。不管怎

(所选放射性核素)年放射性排放的减少情况



样,根据这些结果,尚不能观测到低水平辐射的有害影响。

另一项大规模研究在美国进行,涉及 28 000 名终身受到 5 mSv 以上剂量照射的核船坞工人。

尽管 1991 年进行的这项研究是为了排除所谓的“健康工人效应”,但结果发现受辐照人群的总死亡率比对照人群低 24%。

进一步的结果来自国际癌研究机构对美国、加拿大和联合王国 95 000 名核工人

的研究。1995 年报道的结果显示,所有癌(白血病除外)过量增加的相对危险为负 0.07,即没有任何增加的危险。1997 年报道的一项涉及 115 000 名日本核工人的研究,也得出了相似的结果。

所有这些结果经评定在统计学上都是非结论性的。但不管怎样,这些研究以及过去十年中其他大量研究结果,均未显示出由于低辐射剂量照射导致的癌死亡率有任何增加。

空气污染的情形则大不

相同,已经看到直接后果。在若干案例中,空气污染物的浓度和慢性死亡率间的关系十分明显。

文件记录最齐备的案例是 1952 年伦敦空气污染事件,它造成估计有 4000 例的额外死亡。另一些发生在比利时、美国、巴西、挪威和德国的案例,已显示空气污染造成的死亡率显著上升。在中国,1994 年进行的一项研究发现,北京 SO₂ 的高浓度导致死亡率明显增高。

这些研究评价了短时期

内的空气污染效应。长期流行病学研究的欠缺,限制了对空气污染物导致的死亡率的更深入的评价。

80年代末,空气污染效应的分析作为一条规则仅包括经选定的若干种健康危害。它们是被任意选取的,并且经常没有足够的代表性。进入90年代,国际科学界认为目前掌握的长期接触污染空气的结果未经充分证明,不可用于比较危险评估。

自那以后,在美国进行的两项广泛研究逐渐为国际承认。其中,1993年报道的一项研究,观察了美国6个社区的6000名居民;1995年进行的另一项研究,对居住在美国151个大城市的552 000名成人进行了评价。两项研究均表明,长期空气污染案例中慢性接触死亡率因数大大高于短期事件的死亡率因数。

1997年,美国1995年进行的这项研究的结果为EC的ExternE项目所用,作为评价因长期空气污染导致的死亡率和预期寿命损失的依据。

此外,1997年ExternE项目还将二氧化硫和氮的氧化物的影响列入考虑范围。研究表明,这些污染物能产生对人体健康构成高度危险的二次微粒,由于微粒体积小易于进入肺中,其效应对

肺最具危害。

独立的EC结论与IAEA制定并于1997年颁布的比较危险评估细则(《电力能源系统健康与环境影响比较评估通用细则》)十分相符。

该细则进一步指明了不仅要对电厂运行阶段而且要对能源生产所有重要阶段的健康危险进行全面分析的必要性。ExternE项目中对此已做了考虑,但有一项重要的例外。该项目没有考虑风能和太阳能所需要的后备系统,即便它们在能源供应中占很大份额。忽视这些外部成本,会显著改善太阳能和风能电站的状况。

尽管如此,该项目在可再生能源资源成本评价中还是把前端各阶段包括在内。这是在能源系统的比较危险评估中,向前迈出的重要一步。

就核动力而言,分析家已经发现电厂运行阶段的辐射释放非常小。核电厂的允许额外辐射剂量各个国家的规定不尽相同,剂量水平从美国的0.08 mSv/a到德国的0.3 mSv/a。然而实际的年剂量少得多,通常约为0.001到0.003 mSv/a,某些情况下可达0.03 mSv/a。

可归因于核燃料循环其它阶段的剂量也很小。例如,法国后处理厂产生的辐射剂

量低于0.02 mSv/a。这一发现表明核电厂和燃料循环设施的放射性同位素释放有减少趋势。(见第21页图。)

同样,铀尾矿氡气的释放也已显著降低:1998年的一项研究发现氡气释放的综合健康效应,比联合国原子辐射效应科学委员会1993年的评估水平降低约150倍。

后处理工厂的放射性释放非常小,有时是测不出的。尽管如此,释放出来的一些放射性同位素的衰变时间很长,其长时期(100 000年)内的综合效应会导致值得注意的集体剂量。

设想与途径

比较危险评估研究应可将比较方法学适用于各种能源系统,但实际情况一直不是如此。不同的研究,一直基于一套套不同的设想和途径。

例如,一些研究一直未考虑煤矿工人由于肺尘病(更常用的名称是“黑肺”)或吸入氡气导致的疾病,尽管受害人数达到数十万;这样做是因为分析家们认为,采矿安全的提高肯定会消除这些健康负担。另一方面,一些研究的确考虑了铀矿工人的氡气照射,尽管铀的集体辐射剂量(每吉瓦电年)要小于

煤。

还应举出另外一些例子。

■ 各种空气污染物例如二氧化硫或氮的氧化物经常被忽视,而在核动力的情况下,放射学危险的所有途径都要进行研究。仅有最近的ExternE研究将所有重要的空气污染物列入考察范围。

■ 空气污染物健康效应的计算绝大部分限定在80公里以内或限于一个国家,最大的研究项目(ExternE)也只覆盖欧洲地区。然而电离辐射效应却是从整个世界范围进行计算。

■ 空气污染物研究中的时间范畴通常仅限定在当前的时间,而电离辐射研究的时间范畴则越来越长,在最近的ExternE研究中达到了100 000年。

经常容易淡忘的事实是,放射性产物会衰变并最终消失,而化学污染物却永远保持其毒性。原因之一可能是,关于放射性物质的衰变和其到生物圈的可能迁移途径有很好的数据;而另一方面,关于非核燃料循环产生的有毒废物的长期行为的数据很少或根本没有。

非核健康负担数据的缺乏,经常用来说明排除其它类型能源系统的外部健康成本是有道理的。典型的例子就是可再生能源的前端

德国化石燃料电厂的外部影响				
电站类型	煤*	褐煤*	石油*	天然气*
燃料的硫含量	0.9%	0.3%	0.2%	0%
排放量(毫克/千瓦时)				
电厂,SO ₂	288	411	1088	0
整个循环,SO ₂	326	425	1611	3
电厂,NO _x	516	739	814	208
整个循环,NO _x	560	790	985	277
电厂,微粒(TSP)	57	82	18	0
整个循环,TSP	182	511	67	18
电力生产中的外部成本(千欧洲货币单位/千瓦时)				
电厂/整个循环导致的				
健康损害	11.9/13.4	15.2/16.0	25.7/33.3	2.8/4.3
事故	未量化			
全球变暖	3.0—110.5	3.9—143.1	3.3—120.4	1.3—48.5
其它影响	0.16	0.23	0.64	0.04
全球变暖整个循环	3.4—125	4.0—149	3.5—132	1.5—56
其它影响	0.16	0.23	0.64	0.04
外部成本总计				
(每TWh)	17—138	20.2—165	37.5—166	5.8—60
预期寿命损失总计				
(损失寿命年数/TWh)	141.5	165	359	46

* 煤=煤粉、烟气脱硫(FGD)、氮的氧化物减少(denox)、除尘系统(除尘);褐煤=褐煤粉、FGD、denox、除尘;石油=峰值负荷电厂;天然气=燃气轮机、混合循环
来源:欧洲委员会 ExternE 项目(1997年)。

核燃料循环各阶段的集体剂量			
闭合核燃料循环的集体剂量(人·Sv/TWh)			
阶段	法 国	德 国	联合王国
采矿与加工			
公众	0.177	0.1	0.1
工人	0.112	0.0058	0.7
电力生产			
公众	1.88	0.63	0.407
工人	0.352	0.39	0.028
严重事故(剂量/堆年)			
公众	0.019—2.9*	0.019	
后处理			
公众	10.3	3.3	0.448
废物处置			
公众	0.166	0.14	
集体剂量总计	13.0	4.6	1.7
预期寿命损失			
(寿命损失年数/TWh)	9.8	3.0	1.3

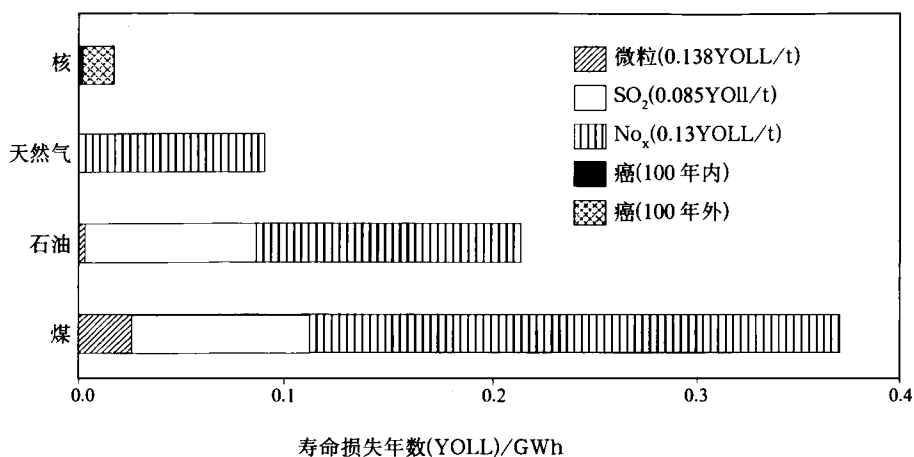
* 核电厂估计值上限(未计入EU国家的评估值内)。
来源:欧洲委员会 ExternE 1997年研究和 SENES,UK,1998年。铀矿开采和加工的斜体数据是用 SENES 结果修正 EC 研究得出的数据。

成本。

在电厂运行期间可再生能源资源确实是环境友善的,而在电厂建成之前它们

的开发需要耗费大量的材料和能源。最近的比较表明,太阳能体系每吉瓦电年需要的钢和有色金属的数量是核能

能源系统的健康危害比较



注：比较以 EC ExternE 项目中评估的每吨污染物的损害成本为依据；本图由法国 A.Rabl 提供。

的 30 到 150 倍，其所需混凝土和水泥的数量也是核能的 6 倍。

此外，生产所有这些材料和建造太阳能电厂的电力需求非常大，达到电厂寿期内电力总产量的 30%。这些电力的生产就已造成健康和环境损害，以致太阳能电站在其开始生产电力之前就造成了环境污染，而这一方面却常常置于考虑范围之外。如前面已经提到的，最近的 ExternE 研究在绝大部分情况中纠正了很多这类错误。

为改进比较危险评估，参加 IAEA 技术委员会会议的各个专家组提出了若干建议。其中一项建议是引入确定的危险水平，低于这一水平的个别危险可视为太小而不必纳入整体危险比较目

的。为所有动力体系的健康效应确定这样一个截止点，将提供比目前实践要好的评价一致性和可比性。目前的实践断开了各种距离和时间段效应，或者忽视了燃料链的部分阶段。

研究结果

尽管技术上的进步使大幅降低煤燃料循环的环境负担成为可能，但现有的和已经计划的燃煤电厂的排放依然很高。1995 年 ExternE 研究承认，进一步减少排放和技术上是可行的。尽管如此，研究指出，这种降低是与建造成本大幅增加和运行损失联系在一起；结果是电力公司预期会依照实际规章而不是技术上的可能性来建造

电厂。

在核燃料循环的情况下，法国、德国、瑞典和联合王国所作的研究都已确定了其对放射学负担的重要贡献份额。（见第 23 页表。）

在这些研究中，所有放射学危害都按整个世界人口和长达 10 000 年甚至 100 000 年的时期加以积分。贡献份额较大的阶段有采矿与加工、核电厂运行和燃料后处理。核燃料循环其它阶段造成的放射学负担也计算在内，尽管它们非常之小。

尽管这些比较在核动力体系方面包含的保守假设要比化石动力体系方面多得多，但结果表明，核动力与发电相关的健康负担最小。根据计算，它是煤或石油相关健康负担的 1/100，是天然气的几分之一。（见本页图。）

总之，过去 10 年的国际研究阐明了评价能源生产系统整个循环的外部健康成本的重要意义。一般来说，评价放射学危害的方法比评价其它能源系统产生的空气污染的方法更加保守。不管怎样，研究结果表明，在正常运行条件下，核动力比化石燃料有着更低的健康和环境负担。目前对可再生能源资源的评估仍然是不完全的；根据研究的假设，其估计效应稍低于或高于核动力的效应。