

从辐射的角度展望核能

对生活环境中各种辐射的分析比较

Abel J. González 和 Jeanne Anderer

许多人对放射性物质向环境的释放及由此可能对人类产生的种种后果忧心忡忡。然而，纵观人类历史，人类就是一直生活在不断变化着的辐射环境之中的。一部分辐射是天然的，另一部分则是人为的。天长日久，人为的这部分辐射也被归入常规的辐射环境中了。人类与环境的这种相互作用及由此产生的各种变化，突出地表明了这样一种动向：今天的辐射环境与昨天的不同，未来的辐射环境也一定是不断变化的。

这种是非颠倒的现象还有一些：核能使人们受到的平均辐射剂量明明是可以忽略不计的，多数人却为之担忧。相反，在人为辐射源中，放射医学造成的受照量最大，却因有利于患者而得谨慎的利用。天然辐射源造成的受照量最大而且几乎无法控制，人们却很少为此而担心。

实际上，人们不可避免地要受到来自生活环境中的各种辐射的照射，只不过一些人由于他们的住房类型、居住地点、生活方式和受到的医疗保健水平的不同，较另一些人受到更多的照射罢了。

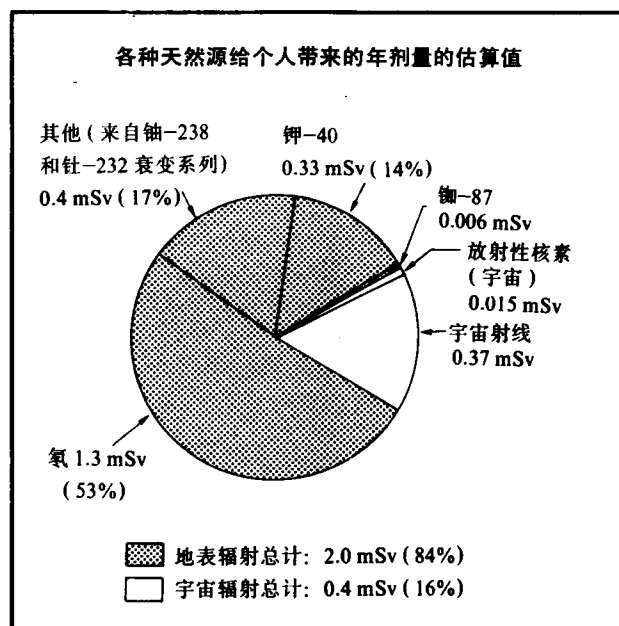
我们有充分的理由可以相信，人们终将会实事求是和高瞻远瞩地看待由所有辐射源造成的各个受照量，从而对核能在这个生活环境中的影响得出正确的看法。对这种情况进行比较研究所得到的知识，定能有助于说明人类在这种辐射环境中是怎样生活和怎样改变它的。更重要的是，这种知识定能有助于说明怎样才能对所有涉及辐射的人类实践作出合理的判断。

González 先生是 IAEA 核安全处副处长，Anderer 先生是该处工作人员。本文是由 1988 年 9 月在伦敦举行的铀协会第 13 届国际学术会议上发表的一篇论文改写而成。

撰写本文的目的，就是企图帮助读者取得这种认识。本文素材主要取自联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) 的 1988 年度报告。^{*} 这份报告及其技术性附件，为研究所有来源的辐射提供了权威性的和不带偏见的事实依据。

对生活环境中各种辐射受照量进行比较，就是比较它们所造成的辐射剂量。辐射剂量若按个体计，用平均 (人均) 值和极值表示；若按群体计，则用能够表明一源或一实践的群体辐射影响的数值表示。

^{*} Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, report to the UN General Assembly, with Annexes, New York (1988).



天然辐射环境

各种天然源引起的辐射剂量，是人们在正常情况下受到的各种辐射剂量中的最高者。（见附图。）各种天然源所造成的年平均剂量约为 2.4 毫希沃特（mSv）。此处将这个值作为天然本底辐射的参考水平。这是每年接受 1—5 mSv（在极端情况下达到 1 Sv 或更高）的个人剂量的统计平均值。

宇宙和地球生物圈是两大天然辐射源。前者用宇宙射线连续地照射人类，后者则主要是已在地壳中蕴藏了数十亿年的多种放射性核素。照射分为外照射和内照射两种。前者是由宇宙辐射和人体外的天然放射性物质引起的，后者则是由于生物学原因滞留在人体内的，和混在吸入的空气、食入的食品及饮料中的天然放射性核素引起的。这样区分是重要的，因为地表辐射是天然辐照的最大来源，对平均年剂量的贡献高达 85%。此外，三分之二以上的天然辐照发生在体内，这部分受照量中有很有一部分是可以技术手段加以控制的。

宇宙源。实际上，全部宇宙辐照的根源是一个：宇宙射线。虽然宇宙射线的辐射水平在地球表面处是比较稳定的，但也受地球磁场的影响，两极地区接受的宇宙辐照要比赤道地区的多。更重要的是，辐射水平随海拔的增高而显著地增加，每升高 1500 米几乎翻一番。大多数人生生活在海拔为零或接近零的地区，所以这些人所受到的剂量与宇宙辐射造成平均剂量 0.37 mSv 相差无几。可是，在美国的丹佛、哥伦比亚的波哥大、玻利维亚的拉巴斯等高海拔城市，居民受到的来自宇宙辐射的年剂量是正常水平的 4 倍，达到 1 mSv 或更高。

同样，乘飞机旅行，尽管时间不长，也会使旅客及机组人员受到异常高的宇宙照射。

地表源。人类周围到处都有地表辐射，只是辐射水平有所不同而已。辐射水平的高低取决于岩石、土壤、水、空气、食物等天然物质甚至人体中包含的放射性的活度。钾-40、钍-232，以及分别由铀-238 和钍-232 的衰变产生的两个系列的放射性元素，是最重要的地表源。其他的放射性核素，如铀-235 衰变链中的那些放射性核素，对总的辐射受照量的贡献几乎近于零。

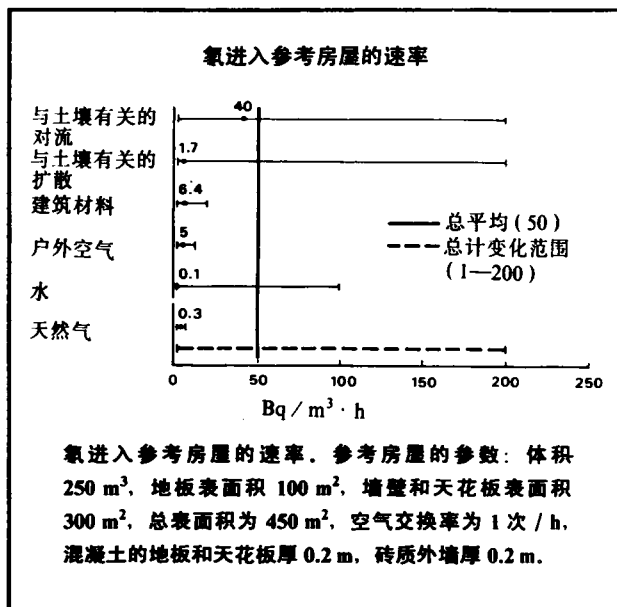
某些岩石和土壤中的放射性，是户外活动的人受到的地表照射的主要来源。一般说来，花岗岩之类的火成岩的放射性活度比水成岩要高，但是，放射性较

高的页岩和磷酸盐岩石是两类重要的例外。最近对占世界人口一半以上的 23 个国家的户外外照射水平进行了调查，发现只有很小的差异。这些研究结果表明，全世界人口的 95% 生活在平均年剂量为 0.4 mSv 左右的地区。虽然如此，有充分的资料表明，有些地区的人们一直受到异常高的地表照射。在印度的喀拉拉邦和泰米尔纳德邦的沿海地区，有许多钍含量很高的独居石砂，导致这些地区的剂量率最高能达到正常辐射本底的 1000 倍。还有一些地区，如巴西的瓜拉帕里、米艾普和波苏斯-迪卡尔达斯地区，剂量率是正常水平的 100 倍。

由于人们的大部分时间都是在室内度过的，因而房屋中的辐射水平往往决定着他们的受照量。实际上，地表放射性物质引起的内照射主要与无处不有的无味气体氡有关。（这里所说的氡是指核素镭-222 和镭-226，以及它们的衰变产物链，即所谓氡子体。）

平均来说，氡造成的剂量略大于天然本底辐射所造成剂量的一半（或者说每年 1.3 mSv）。建筑物中的氡有多种来源，最重要的来源是底部或四周的土壤，总量不大的次要来源是建筑材料、户外空气、自来水和天然气。（见附图。）室内调查结果最近才见到。调查结果表明，在世界上的许多地区，建在高放射性地基之上或用高放射性材料建造的房屋中，很可能记录到异常高的氡水平。

来源于氡以外地表源的内照射，主要是由摄入的钾-40、铅-210 和钋-210 引起的。与氡的受照量相



比, 它们对平均年剂量水平的贡献不大。由于钾-40的摄入量在人体内能自动保持平衡, 其可变范围较小。相反, 饮食结构能够影响铅-210和钋-210所造成的内受照量。例如, 在海味颇受欢迎的日本, 由于这类核素能在海味中得到浓集, 因而日本人体内这两种核素的浓度, 为德意志联邦共和国和印度的5倍, 为美国的10倍。我们还知道, 生活在北半球北端的人摄入这些放射性核素的量也极大, 因为当地的几万人主要靠吃驯鹿或北美驯鹿的肉维持生活。这些牲畜则以能够浓集铅特别是钋的苔藓为主要食料, 导致当地人群受到的照射剂量达到正常水平的10倍。在烟叶和纸烟灰中, 也已探测到铅-210和钋-210。

辐射环境正在改变

与核电工业无关的三种人类实践正在改变着辐射环境, 它们是: 应用范围正在不断扩大的医用辐射、大气层核武器试验, 和涉及天然放射性核素的各种工业过程。相关的职业受照量看来使辐射环境发生的变化不大。

医用辐射。医疗照射是使辐射环境有所改变的一个主要因素。相应的年平均剂量为0.4—1 mSv, 具体数值与估算剂量的方法有关。

医用辐射主要用于: 诊断性X射线检查, 包括医学和牙科射线照相; 需要内服放射性核素的核医学诊断; 医治癌及其他疾病的放射疗法。放射疗法在本文中的地位比较特殊。由于牙科和其他放射学检查经常做, 人们已习以为常; 对待放射疗法, 人们却把它看作非常不可能发生的, 与他们的生活无缘, 也与他们的辐射环境无关。因此人们往往认为他们与这种治疗实践的辐射没有直接的关系。实际上, 关于这种高水平辐射实践带来的危害, 一直未提到关于辐射危险的公众辩论议事日程上来。统计数字表明, 实际情况很可能相反: 约有四分之一的居民在其一生中可能需要接受放射治疗。不过, 鉴于上面的原因, 此处的分析比较未计及治疗性医学实践的辐射受照量。

关于辐射在医疗实践中的使用情况方面的情报资料, 有许多是相当可靠和含义明确的。不幸的是, 这些资料涉及的主要是高度发达国家的居民, 而他们不到全球50亿居民的四分之一。另外还有四分之一的居民, 只有一些残缺不全的数据。至于其余的25亿多人, 即使他们受到了医疗照射, 有关他们受照射的情形也几乎不为人所知。情报资料方面的这种缺陷

表明, 放射医疗的发展状况是极不均衡的。一些专家由此得出结论, 世界上将近四分之三的居民, 尚未从具有重大价值的诊断性放射学实践中受益。

诊断性射线照相。诊断性X射线检查, 约占人们每年接受的医疗照射总剂量的95%。这些总计值所包涵的实际情况, 无论是放射诊断的强度还是这种操作的影响, 都是千差万别的。例如, 在被UNSCEAR划入保健水平最高的国家里, 平均一台X光机为4000人所共用; 而在保健水平最低的国家里, 却为170000人所共用。在前一组国家里, 平均每1000人每年做800次检查; 在后一组国家里, 平均每1000人每年做过的检查不到30次。

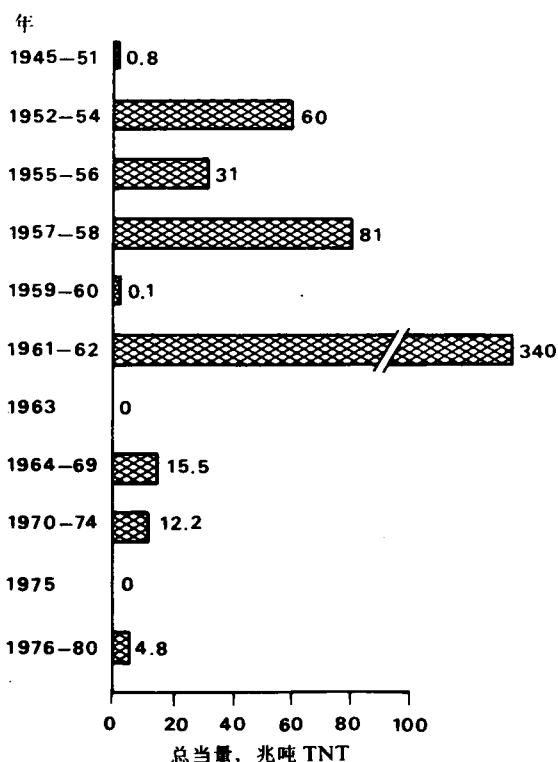
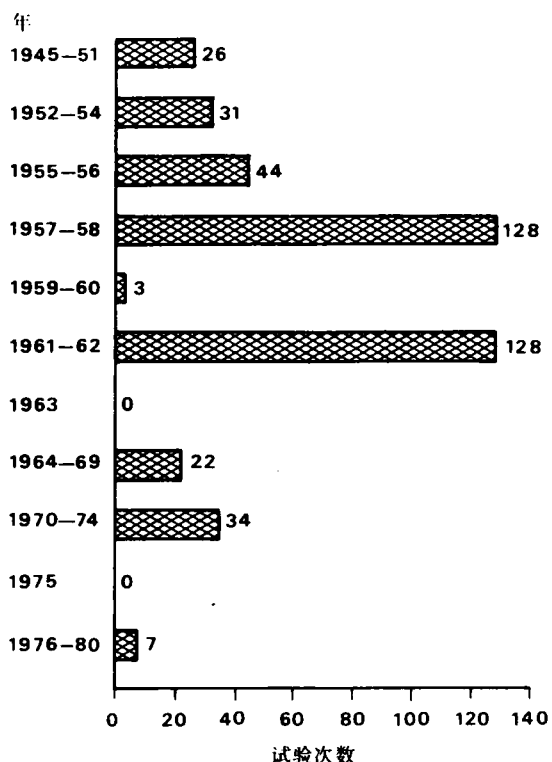
即使诊断强度相同, 个人剂量也有差别。具体数值取决于检查什么, 使用什么样的程序和这些设备的实际工效。举一件事来说, 在大多数发达国家中, 标准的胸部整体X射线检查已不再被认为是合适的。而在许多发展中国家中, 情况似乎相反。例如亚洲的某些国家中, 在所有的诊断性医学检查中, 四分之三以上是胸透。更为重要的是, 正当大多数发达国家在胸部检查中全部或者说比较广泛地使用各种射线照相技术时, 发展中国家的数据却表明, 他们正在大规模地使用X射线荧光检查, 然而这一方法给患者带来的剂量能达到射线照相方法的15倍。

在卫生保健体系不健全的国家里, 缺乏使用X射线荧光检查法的数据, 这是一个较大的不确定因素, 使人们无法对诊断性X射线检查究竟带来多大剂量作出十分肯定的结论。另一个影响剂量水平而又未解决的问题, 是这些国家的诊断设备的工效, 这在许多发展中国家中尤其如此。值得注意的是, 估计这些设备中有30—70%工作得不正常。

牙科射线照相。牙科射线照相引起的受照量仅占医学受照量的1%, 个人每次检查所受剂量平均为0.04 mSv。这是最经常使用的一种诊断性X射线检查, 每年要进行大约3.4亿人次, 其中大部分发生在具有完善的保健体系的国家中。

诊断性核医学。核医学实践自大约30年前引入以来, 它在世界各地的应用一直与日俱增。但在少数几个国家中, 它们的应用次数一直在断断续续地下降, 其原因是计算机化的断层X射线照相技术可以代替放射性核素脑扫描, 并可以使用如超声波等其他非电离辐射技术。这部分受照量仅为所有医学受照量的4%。所有的医学照射实践在国与国之间, 以及在一国内部的各地区之间都有差别, 诊断性核医学也不

大气层核武器试验的次数和当量

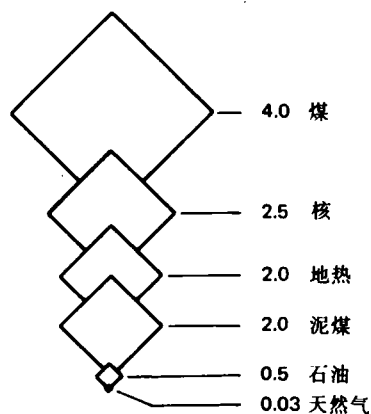


例外。使用的放射性核素类型不同（例如，是碘-131 还是锝-99m），也会使平均年剂量有很大差别。

核武器试验。1945 年以来，为试验核武器，已在大气层进行了 400 多次核爆炸，最近的几次是在 1980 年进行的。（见第 24 页附图。）大气层试验有两个高峰期：1957—1958 年和 1961—1962 年，每次各进行了 128 次试验，但后一高峰期的当量约为前一高峰期的 4 倍。不管人们从道德角度对这种实践有什么样的议论，事实是曾进行过这些试验，向环境抛撒了大量放射性物质。

大气层试验产生的落下灰中虽然含有数百种放射性核素，但对现在和未来的居民来说，值得注意的只有以下 4 种：半衰期为 5730 年的碳-14、半衰期为 30 年的铯-137、半衰期将近 30 年的锶-90 和半衰期为 12 年的氚。日前，碳-14 引起的受照量约占这些放射性核素引起的全部受照量的三分之二；鉴于其他放射性核素的半衰期较短，到本世纪末，将只有碳-14 仍是有意义的。钚-239、钚-240 和镅-241 对剂量率的贡献很小（0.1%），但将存在数千年。就个体而言，落下灰造成的平均年剂量仅为 0.01 mSv，但对后代造成的集体剂量负担却是各种人为源造成的各种集体剂量负担的最大者。

涉及天然放射性核素的工业过程。某些工业过程，例如地热能的利用和磷酸盐矿石的开采等，都会使地球表面物质中的某些天然放射性核素的浓度大于平均值。另一些工业过程，例如煤的燃烧和磷肥的生产等，处理的是天然放射性核素浓度等于或大于平均

各种发电系统产生的
归一化集体剂量负担估计值

单位为人·Sv /
GWe·a

值的物料，而且能将放射性核素浓集于一种或多种产品或副产品之中。这些核素对辐射环境的影响还没有达到易于察觉的程度。不过，这些照射尚未得到系统的监测，而许多过程（特别是能源生产过程）正在大力发展的种种模式强烈地表明，在今后几十年内它们将产生相当大的影响。事实上，非核能源发电也会使公众受到辐射照射。某些常规电厂的辐射影响与核动力厂不相上下。（见附图。）

在许多国家中，煤在满足其日益增加的电力需求方面，是一种有生命力的能源。实际上，1981年全世界生产的27亿吨煤当量中，70%左右用于发电，20%用于炼焦，10%用于家庭取暖和炊事。煤象大多数天然物质一样，含有多数能在燃烧时释放出来的天然放射性核素。释放的多少取决于煤中放射性物质的浓度、灰含量、燃烧温度、这些放射性物质在炉底重质灰渣和轻质飞灰中的分配情况，以及烟尘控制装置的效率。世界上的燃煤电厂基本上可分为两类：释放大约10%飞灰的“老式”电厂，和装有高级的污染控制装置、只释放0.5%飞灰的“新式”电厂。假定世界上三分之二的发电厂是老式厂，则每发出1吉瓦年（GWe·a）的电力，将产生4人·希沃特（人·Sv）的归一化集体剂量负担。

使用煤还产生其他辐射危险。由烟尘控制装置收集的飞灰，大部分将最终用于制造水泥和混凝土。因此，这种放射性材料在建筑业的应用会增加辐射照射的机会。没有被大批应用的那部分飞灰，则常常被倾倒在发电厂附近，它们可能被风重新刮起，可能污染地面和地下水体，从而具有潜在的辐射危险。遗憾的是，缺少这些实践所造成的辐射剂量的评价结果。

地热是辐射照射的另一种来源。尽管地热在发电量中所占的份额很小，但预计其相对重要性将会增加。浓集在地热液流中的放射性，大部分来自铀衰变链，尤其是氡。根据几个国家对地热液流中的氡的测量结果，估算出的归一化集体剂量负担为2人·Sv/GWe·a。

世界上有几个地区，特别是北欧国家，使用泥煤发电。流动的地表水和地下水夹带着多种天然放射性核素进入泥煤沼，它们在那里最终被泥煤所吸收。关于燃泥煤电厂向环境排放天然放射性元素的数据，现在几乎是空白。假定发1GWe·a的电力需要烧掉500万吨泥煤，则相应的归一化集体剂量负担估计为2人·Sv/GWe·a。从长远来看，富铀泥煤灰的贮存和处置，也许会造成非常严重的辐射后果。

在全世界由发电带来的辐射受照量中，石油和天然气的贡献都是较小的。相应的集体剂量负担分别为0.5和0.03人·Sv/GWe·a。

职业性受照量。天然辐射对有关的职业性受照量也有贡献。一个明显的例子是航班机组人员会受到异常高的宇宙射线照射。根据现有的1979—1983年的数据，飞行人员的个人年剂量曾达到过15mSv，这可能是一个极大值；氡水平高的办公楼、商店和车间中的工作人员，甚至氡浓度高的住房中的家务人员，接受的天然辐射照射剂量有时也会高到惊人的地步——大大高于核工业界所使用的职业性剂量限值。

涉及天然放射性核素的工业活动所造成的职业性受照量数据，只有少数几个国家有，但即使在那些国家中，这些数据的含义也不是十分明确的。所以，只能粗略地作些估计。对于燃煤电厂工人而言，受照量主要是由吸入空气中的飞灰引起的。粗略地说，全世界的集体剂量为60人·Sv；来自磷酸盐矿石的处理和运输的集体剂量，估计为20人·Sv。对于从事磷酸盐化肥的贮运和使用人员来说，全世界的集体剂量也许高达50人·Sv。燃料循环中与武器试验有关部分所带来的职业性受照量方面的数据不易获得。不过，鉴于所涉及的放射性核素中有些核素的放射毒性较高，以及这些实践中采用的辐射防护措施总是不如核能和平利用领域那样严格，看来这些活动的放射学影响不会小。

对于那些以医学辐照的各种应用为职业的人来说，每100万居民的年集体剂量当量为1人·Sv。虽然世界各国的医学辐照实践在不断增加，但为数不多的、能显示趋势的数据暗示，年集体剂量当量正在以每10年10—20%的速率下降。

与核能有关的辐射

下面探讨与正常的核电生产有关的辐射水平。自从世界上第一座商用核电厂于1956年开始运行以来，全世界的核电工业已经积累了5000多堆年基本上是安全的运行经验。不过，核电工业象人类的所有其他生产活动一样，其发生事故的可能性尽管非常小，但总是存在的。苏联切尔诺贝利核电站4号机组发生的事故突出表明了这种可能性，从而使关于恶性事故受照量的种种分析脱离了假想王国的范畴。鉴于这种受照量分布不均，能否拿切尔诺贝利事故造成的受照量和包括天然辐射在内的其他稳定源造成的受照

量相比较,这是一个有争议的问题。尽管如此,这种比较对于理解这次严重事故的影响还是有用的。

鉴于在有关核能发展的公开辩论中,人们往往把注意力集中到放射性核废物的处置问题上,因而简要地考察一下这些废物的潜在放射学影响或许是有益的。公众的担忧常常起因于这样一种误解,即这些放射性废物不可能在那么长的时间内都得到安全地控制或管理。这些担心与专家们的观点形成了鲜明的对照,专家们对解决这一问题的各种技术方案信心十足。简单地说,对乏燃料进行适当处理时所产生的放射性废物,经过妥善的处置后,所产生的放射学影响完全可以忽略不计,以致即使根据最保守的假设,给活上几万年的假想居民带来的剂量实际上也近于零。因此,在对各种辐射水平进行比较分析时,一般不考虑废物处置这个问题。

正常运行的核电厂。正常运行的核电厂,只向环境释放其数量小到可以忽略不计的放射性物质。平均地说,由核燃料循环全部实践带来的年剂量,只相当于天然辐射剂量的很小一部分(小于0.1%)。

核能生产带来的受照量,发生于核燃料循环的所有阶段。对公众和工作人员所受到的辐射剂量,要从空间和时间角度进行评估。(见下页附图。)

铀矿石的开采和水冶。铀矿石开采会使从地下矿排出的空气中含有放射性物质,或从露天矿的矿坑直接释放出放射性物质。铀矿石水冶过程产生的尾矿和其他物质,会在短期内向大气释放一些放射性物质,在较长时期内向大气释放的放射性物质累积起来的总量也比较大。目前的一般做法是将尾矿不加封装地露天堆放,或倒入专设的尾矿池,并以固态或液态物质覆盖起来。铀矿石的开采和水冶在5年中释放的氡气导致的剂量负担为 $0.1 \text{ 人} \cdot \text{Sv} / \text{GWe} \cdot \text{a}$ 。铀矿石的开采和水冶给当地和当地居民带来的集体剂量负担分别为0.3和 $0.04 \text{ 人} \cdot \text{Sv} / \text{GWe} \cdot \text{a}$ 。

燃料制造。比较而言,燃料制造产生的废气和废液是极少的。所涉及的铀化合物大多是固体,不难从排出的气流中除去。这项实践给公众带来的集体剂量负担为 $0.003 \text{ 人} \cdot \text{Sv} / \text{GWe} \cdot \text{a}$ 。

反应堆运行。在过去的几年中,虽然核电装机容量在增加,但反应堆运行给公众带来的剂量负担却在稳步下降。这一方面是因为核电厂广泛采用了各种辐射防护系统,另一方面是因为电厂运行效率有了提高。例如,反应堆运行向大气释放的碳-14,现在只有UNSCEAR于1982年报道的数据的一半左右。

这一点很重要,因为给公众带来的集体剂量负担 $2.5 \text{ 人} \cdot \text{Sv} / \text{GWe} \cdot \text{a}$ 中,大部分来自碳-14。

后处理。为数不多的几家后处理工厂在作商业运行,其中包括联合王国的塞拉菲尔德(前称温茨克尔)后处理厂,和法国的阿格与马库尔后处理厂。这些工厂合起来也只能处理全世界乏燃料中的很小一部分。其余的乏燃料一直存着,等待有关国家就后处理问题作出决定。在后处理工厂的流出物中,值得关心的是长寿命核素(例如碳-14、氟、氦-85和碘-129)。后处理厂带来的集体剂量负担为 $1.27 \text{ 人} \cdot \text{Sv} / \text{GWe} \cdot \text{a}$,其中大部分是液态排出物造成的。

运输。沿着核燃料循环链进行的运输活动给当地和当地居民带来的集体剂量负担比较低,约为 $0.1 \text{ 人} \cdot \text{Sv} / \text{GWe} \cdot \text{a}$ 。

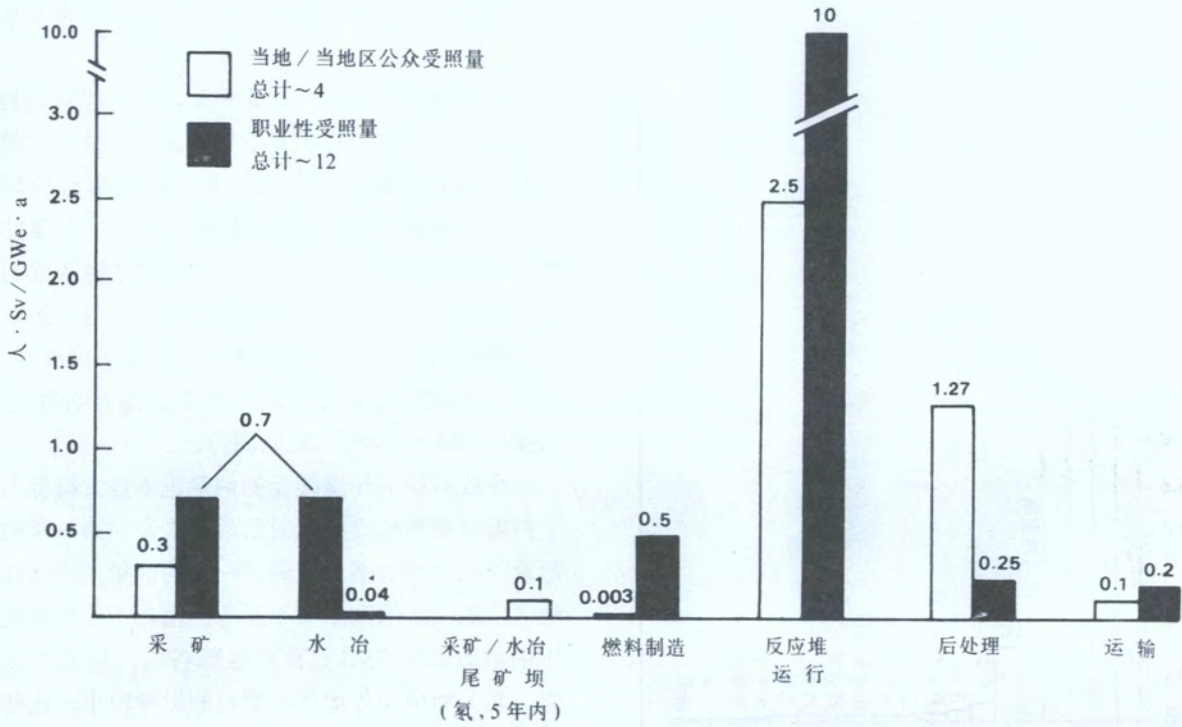
职业性照射。核动力工业各种设施中的工作人员的受照量相差很大。核动力厂维修工人特别是修理人员受到的剂量最高。铀矿工人尤其是井下的矿工,面对着接受氡及其子体照射的危险。

长期效应。在核燃料循环的各种作业中,还释放出许多寿命很长的放射性核素,它们将在生物圈中逗留成千上万年。假定这些放射性核素在假想的无限长时间内不断给公众带来剂量,则产生的集体剂量负担将达到 $69 \text{ 人} \cdot \text{Sv} / \text{GWe} \cdot \text{a}$ 。不过,在今后100年内带来的集体剂量负担将只是这个总量的10%。在今后10000年内,水冶尾矿释放的氡气所造成的剂量负担将高达 $150 \text{ 人} \cdot \text{Sv} / \text{GWe} \cdot \text{a}$ 。

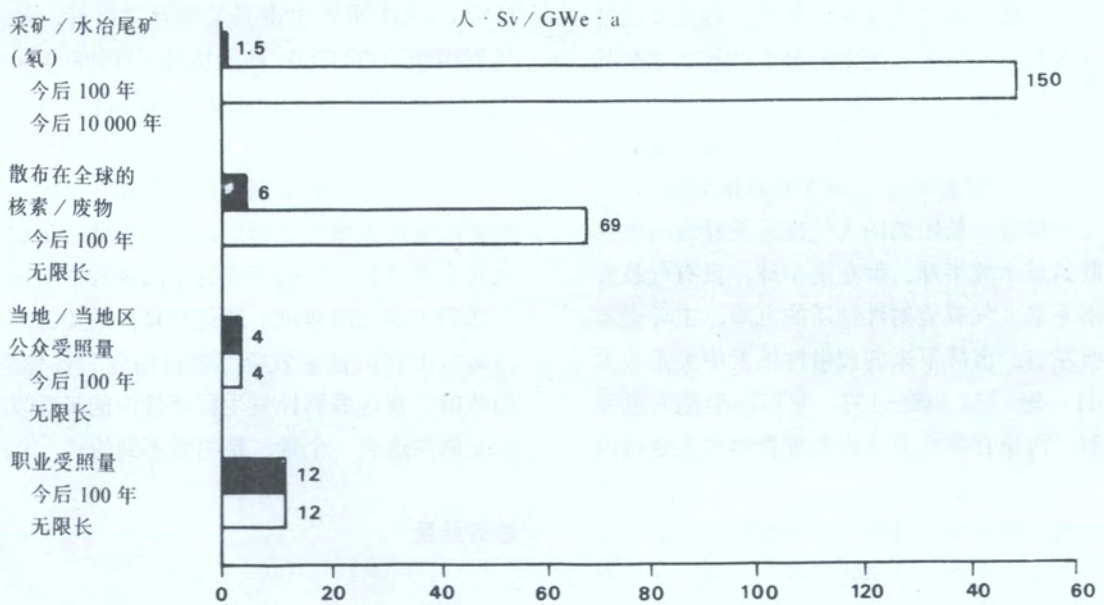
切尔诺贝利事故:超设计基准事故。尽管常规的核发电引起的放射学影响很小,但人们对于潜在事故的后果仍然忧心忡忡。自切尔诺贝利事故以来,一些国际组织和国家团体,一直在收集和分析这次事故带来的放射性落下灰方面的数据,从中获得了大量的资料。特别是UNSCEAR,它与世界卫生组织和国际原子能机构一起,曾根据来自约40个国家的数据,评估过这起事故的全球放射学影响。现在,我们可以通过这个真实的透镜,看一看切尔诺贝利事故究竟带来了多大的受照量。

事故概况。1986年4月26日发生的切尔诺贝利核电站4号机组事故,是在进行低功率工程试验时发生的,当时一些安全系统已被切断。接着发生的某些不可控制的不稳定性,引起化学爆炸并起火,严重损坏了反应堆堆芯和包容反应堆的构筑物。向环境释放了大量放射性气体和尘埃:第1天释放了25%,后来的9天释放了其余的75%。到事故发生后的第10

核燃料循环在短期内给当地和当地区居民带来的归一化集体剂量负担估计值和职业性受照量

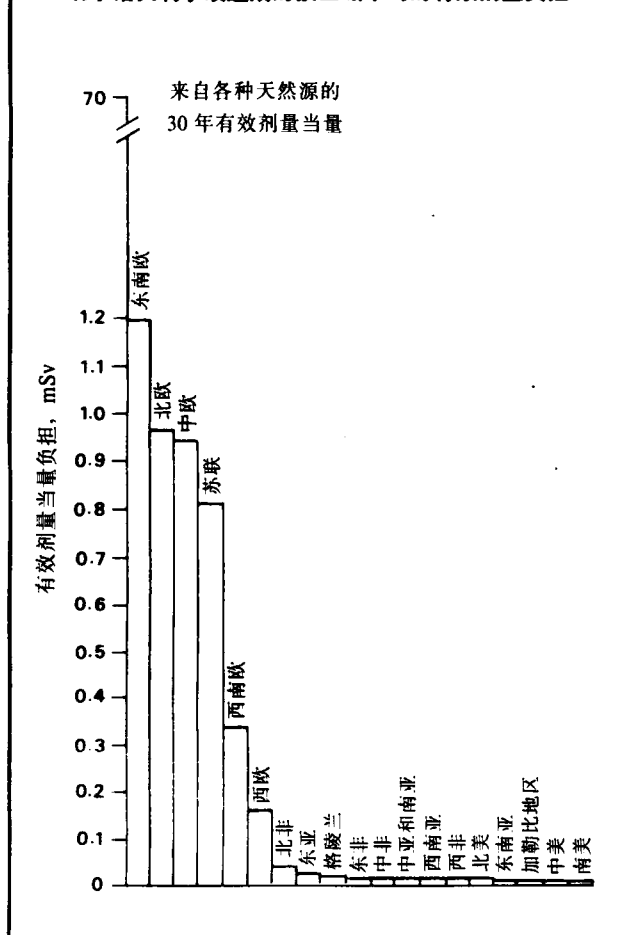


核燃料循环在长期内带来的归一化集体剂量负担估计值



注：全部数据已化成整数。

切尔诺贝利事故造成的按区域平均的有效剂量负担



天、火被扑灭，堆芯被封闭起来。现在，这座反应堆已被永久性地封在石棺中，剩余的放射性被禁锢在其中。

起初释放的放射性物质，朝电站偏北方向随风飘扬；后来释放的则朝着电站的西方和西南方向飘散，也向其他方向飘散。长距离的大气输运使释放的放射性物质飘散到整个北半球。但在南半球，没有气载放射性物质落下来。气载放射性物质的沉降，主要受零星的降雨所左右。沉降下来的放射性核素中关系较大者是碘-131、铯-134和铯-137，它们污染地面进而引起外照射，污染食物而使食入此类食物的人受到内照射。

响应情况。苏联各主管部门在事故后立即采取了强制性的公众保健措施，并实施了各项保健计划，大大减小了公众受到辐射照射的可能性。由于采取了多种去污措施、移走表土层、对食品和牲畜进行监测和销毁，以及对农业加以限制等措施，已使这个地区的辐射剂量水平，降到比情况最坏时得出的估计数字低

得多。这些估计数字是在事故发生后不久，辐射应急处理对污染地区及那里的居民产生影响之前作出的。到1987年夏季，约600个居民中心的60000幢房屋和其他构筑物的去污工作已经完成。

在苏联境外，许多国家在这起事故发生后也立即采取了相应的措施，有效地降低了个人剂量和集体剂量。

辐射剂量：数量、位置和原因。已经得到的涉及释放出的主要放射性核素的数据表明，估算出的公众剂量在地区之间差别很大。来自这起事故的剂量负担，主要是指今后大约30年内要接受的剂量的累计值，其中大部分是由铯-137的连续照射造成的。即使是东南欧居民中记录到的按区域平均最大的剂量负担（接近1.2 mSv）也只相当于这些居民在今后30年内不可避免地要接受的天然本底辐射剂量（约70 mSv）的极小部分。（见附图。）

事故后第一年里接受的剂量也不是大得惊人。对于白俄罗斯地区受到照射的居民来说，第一年的平均剂量仅相当于天然本底辐射一年的剂量。在欧洲其他地区，第一年的剂量大小不等，相当于天然本底辐射年剂量的25—75%。西欧西部各国，以及亚洲、北非、北美和中美等地区，受到的影响较小。这些结果与放射性核素沉降模式是吻合的。

没有理由担心。无可否认，切尔诺贝利事故是人类经历过的最严重的辐射紧急事件。除了可以从UNSCEAR报告中得到某种宽慰以外，经济合作和发展组织（OECD）核能机构于1988年1月也发表了它对OECD国家记录到的来自这起事故的放射性落下灰的评价结论。这个结论是：“……OECD国家中的个人受到的辐射剂量不见得明显地大于他们在一年中接受的天然本底辐射剂量。因此，这起事故使公众各个成员的辐射损害终身平均风险发生的变化，没有达到可察觉的程度；通过计算出的集体剂量，可导出某些潜在的健康效应（各种癌症和各种遗传效应）的数值，在这些居民发生同类效应的天然发生率的基础上添加这么一个量，是感觉不到的。”

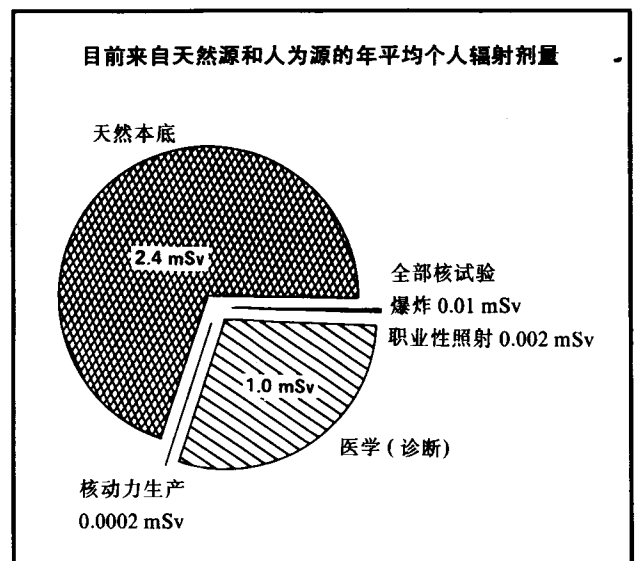
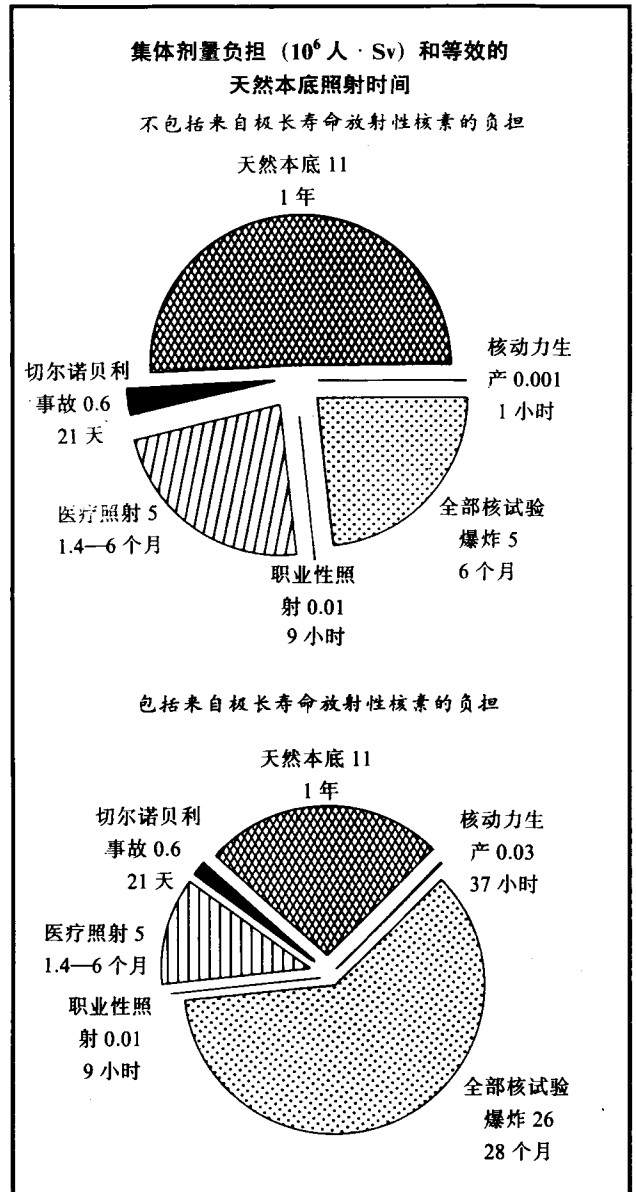
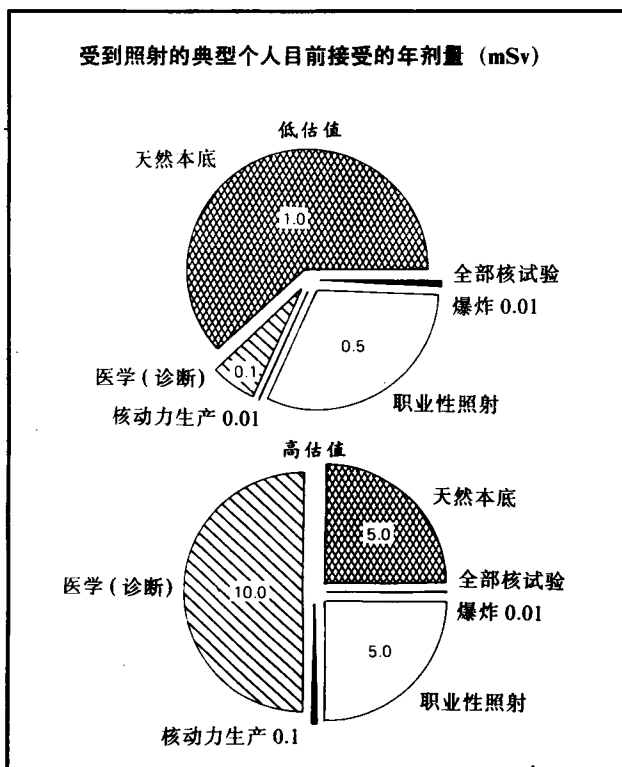
总的结果

现在，对现存环境中的辐射的分析比较，既可以按个体进行，也可以根据全世界居民所受剂量负担从群体角度进行。从这些分析比较中可以得出一些明确的事实性结论：

• 核能对辐射环境的影响可以被认为是微不足道的：就个人的受照量而言，它比来自所有其他源的受照量小几个数量级。从集体剂量负担的角度看，在正常条件下，且不算来自很长寿命放射性核素的负担，则核电生产一年给公众带来的总受照量，相当于每年多受 1 小时不到一点的自然本底照射。当把很长寿命放射性核素（主要是碳-14）也包括在内时，待积剂量大体上相当于多受 37 小时的天然照射。（见本页各图。）

即使在切尔诺贝利事故这种极端的情况下，集体剂量负担（主要来自铯-137、并在今后 30 年中产生的）也仅相当于多受 21 天的天然本底照射。

• 医疗照射是使辐射环境有所改变的一个主要因素。来自各种医学辐射应用（尤其是诊断性 X 射线检查）的平均年剂量，相当于个人平均每年从天然辐射本底接受的照射剂量的 20—45%。这些实践的频率和强度在居民中差异很大，一些典型的个人从医学应用中得到的照射剂量，两倍于从天然辐射中得到的剂量。从总体上看，来自医疗照射的受照量，相当于多受 1.4—6 个月的天然本底照射。此外，在今后几十年中，医疗照射很可能要增加，这是因为人的寿命在延长，发展中国家的居民将有更多的人会受到此类医疗服务。到 2000 年，集体剂量很可能要增加 50%，到 2025 年，增加 100%。



●显然，过去几十年中进行过的大气层核试验所造成的剂量负担，主要是碳-14的贡献。当把这种寿命很长的放射性核素给人类造成的受照量包括在这个估计值之内时，相应的集体剂量负担相当于多受28个月的天然本底照射。

最后的一个数据是，人由于职业关系受到的受照量，相当于每年多受9小时不到一点的天然照射。

几点结论

对话问题。从逻辑上看，可以得出正常的核电生产不会显著改变辐射环境的结论。公正地说，切尔诺贝利事故的后果也并不是象人们经常误传的那样严重。那么，核能的影响为什么一直被人们极大地误解着呢？一个可能的解释是，人们多少有些近视地看待辐射：认为辐射主要是由核能带来的，它没有一点好处。实际上，来自其他人类实践的照射却是受欢迎的或是被容许的。对于患者来说，医疗照射的好处是明显的。但对于一个惯于享用电力之便但又不加思索的人来说，核能的优点和放弃核能的缺点就无所谓了。

对话方面的问题是严重的，原因在于专家和公众之间缺少共同的认识。专家们深知核能带来的受照量很低，而总觉得不放心的公众的不安情绪却不会轻易地被态度和蔼的专家们的反复保证所消除。现在需要坦率地对待公众对辐射的关切，用一种能够促进理解和信任的语言，实事求是地进行对话。UNSCEAR的这份报告提供了填补这一空白的机会。

降低剂量：很多的可能性。此外，既降低辐射剂量又不损害放射学实践所带来好处的可能性很多。控制天然照射方面的尝试，显示出许多有前途的结果。例如，把铝箔贴在以放射性矾页岩为骨料的混凝土墙壁上，就能把氡气进入率减少一半左右；墙壁表面加上涂层也能将氡气进入率减少20—80%。还存在着许多能免除不必要的医疗照射的可能性。诸如超声显象和磁共振显象等新的诊断技术，正在取代X射线检查，特别是在脊柱、肾和胆囊的检查方面。过去20年中的技术进步，已为大大降低患者所受剂量铺平了道路。最值得一提的是，用射线照相代替胸部X射线荧光检查和X射线荧光照相，完全可以极大地降低剂量，分别降低到原来的1/20和1/5。某些简单且费用不大的方法，也能使剂量得到中等程度的降低，其中包括束流的准直、添加束流过滤设备和在

射线照相检查过程中把生殖腺与甲状腺屏蔽好。做好医疗设备的使用、标定和质量保证等方面的培训，有可能降低大约50%的剂量。在许多国家中，正在从事放射学检查的工作人员中，有一半以上几乎没有或根本没有受过正规的培训。

尽管这些措施对放射学影响的贡献不算大，但核动力工业也能得到并正在得到相似的进步。经济合作和发展组织的核能机构认为，铀尾矿引起的氡受照量可以大大降低，降到原来的600万分之一以下是有可能的。核燃料循环的各个阶段都有类似的可能性。核电装机容量在不断增大，但来自核反应堆运行的剂量却在下降，这主要是因为改进了防护体系，以及扩大了机器人的应用范围。核燃料循环的后段也不例外：燃料后处理的重要作用，就是要缩小乏燃料元件直接处置所带来的放射学影响。在后处理方面的主要趋势是朝着效率更高的方向发展，这在塞拉菲尔德工厂尤为明显。

辐射照射和辐射安全。各种辐射源对受照量的贡献明显不同，控制这些受照量的可能性也不同。但令人吃惊的是，在确定辐射安全的轻重缓急时，这些情况只产生相当小的影响。辐射安全工作一直主要集中于核能方面；对于由其他辐射源造成的比这大得多的那些危险，实际上却采取了睁一只眼闭一只眼的态度，真是令人啼笑皆非。

大体上说，在涉及放射性物质的各种实践活动的职业受照量方面，都有辐射防护标准。在核工业中，这些标准得到了严格的执行。这个行业的工作人员中有许多经过高级培训的辐射防护专业人员。总的看来，这样高水平的防护在其他行业是很少见到的，只有技术先进的医院等少数部门例外。即使这样，核设施工作人员所受的职业照射，也比医疗照射之类的其他辐射实践高一个数量级。解释这些数字时需要小心。一则核设施中的记录保存得比较完整，比较严格。再则在整个核燃料循环的各个阶段，都有完善的职业性监测系统，这些也是别处比不上的。

剂量的减少与增加：权衡利弊。当涉及辐射照射时，人们常常会遇到权衡利弊的问题。例如，究竟是应该接受一次计算机化断层X射线扫描所带来的较高剂量，还是承担病症得不到确诊和医治的风险呢？许多医学专家也常常遇到类似的矛盾：一张因曝光不足而无法判读的X射线照片，尽管患者吸收的剂量少些，但对他们往往毫无益处。

从总体上看，对于我们这个人口不断增加、经济

不断发展、寿命不断延长、到处渴望过上优质生活的世界来说，避免辐射照射或减少这种照射本身，并不总是一个理想的目标。今后 30 年中，世界人口将空前增加：从 50 亿人增加到 2015 年的 80 多亿人。世界各地的城市化趋势在继续，估计到 2015 年，城市人口的比例将达到约 57%，而现在只有 30%。在传统上，城市居民一直比乡村居民得到较多的医疗服务。最近，特别是在一些发达国家中出现的人口老龄化现象，对医疗服务的需求必然增加。1980 年，世界上年龄超过 60 岁的人约有 3.8 亿，2000 年可能增加到 6.07 亿，2025 年将达到近 12 亿。

社会和经济的发展离不开能源，特别是电力。虽然核和煤是满足大规模电力需求的可行方案，但两者都导致辐射照射。工业方面和家庭方面的消费者，都在从石油转向电力，这不仅是为了在能源方面减少依赖性，还为了得到与电力的最终用途效率较高有关的经济效益。虽然别的化石燃料和可再生能源也能对供应作出贡献，但对大多数国家来说，核和煤却是满足这些大规模需求的最可行方案。

核电装机容量预计要增加，这将使辐射照射水平升高。但只要客观地看，这些照射将来也会同现在一样，在当时的辐射环境中只占一个不大的份额。可是，煤电装机容量的增加不但会带来更多的辐射照射，化石燃料的燃烧还会导致无穷的环境祸害。

辐 射 剂 量

吸收剂量：每克组织吸收的辐射能量，其单位为戈瑞 (Gy)。

剂量当量：针对电离辐射的类型及其能量作过加权处理的吸收剂量。其单位为希沃特 (Sv)，其分单位有毫希沃特 (mSv) 和微希沃特 (μ Sv) 等。对大多数实际应用来说，加权因子为 1；这就是说，1 希沃特等于 1 戈瑞。

有效剂量当量：为表示人体不同器官对辐射照射的敏感性而作过加权处理的剂量当量。由于它是一种（修正过的）剂量当量，故也以希沃特为单位。

集体有效剂量当量：一群人受到的来自某一辐射源的有效剂量当量。其单位为人·希沃特 (人·Sv)。

注：在实用中，这些量通常以剂量率（例如， mSv/h 或 $\text{人} \cdot \text{Sv/a}$ ）表示。如果把这些剂量率在一段时间内积分起来，所得到的量一般称为剂量负担。如无说明，剂量负担的积分时间在理论上是无限长的；例如，一次涉及辐射的实践或行动所造成的集体有效剂量当量负担，是指所有个人（现在的和将来任何时候的）受到的所有剂量之总和。

