

ETS #15

能源与安全

能源与环境研究所出版·美国华盛顿·二〇〇〇年第四期

被遗忘的辐射：20世纪40和50年代三个核材料 处理工厂中工人吸收的辐射剂量

阿琼·麦克贾尼、伯恩德·弗兰克、希斯汉姆·泽里夫*



AMERICAN NATIONAL ARCHIVES

人工滚动碾磨，显示通风罩，1959年前后。

编者按：本文来源于能源与环境研究所根据与《今日美国》（报纸名——译者注）的合同准备的一份报告。经过计算，该份报告估计了美国在20世纪40和50年代处理用于核武器生产的铀的三个私人拥有和运营的工厂中工人受到辐射的情况。其中一个工厂还处理钷。

这份报告得出结论，这三个工厂的工作条件十分恶劣，许多工人受到的辐射剂量远高于当时的通行标准，一些工人由此患癌的可能性很高。该报告认为，政府在受到辐射可能引发危险方面有意误导工人。

在2000年9月6-8日发表的一系列文章中，《今日美国》指出在20世纪40和50年代，美国约有150家私人设施涉及核武器生产的不同阶段。

随后，美国能源部发表了一份“内部工作清单”，其中包括超过750家可能卷入与核武器有关工作的设施，有私人拥有/运营的，也有政府拥有/运营的。其中一些设施从事的工作类似于这儿分析的三个工厂；另一些承担的任务则不同。

在否认了几十年之后，美国能源部于2000年4月承认，核武器生产由于放射性辐射和有毒化学物质对其工人造成危害。这一公告引起的关注中的极大部分被给予了在主要的、由政府拥有和运营的能源部工厂中工作的工人。政府的这一关注确实很有必要，并且已经被长期延误了，但是，能源与环境研究所的报告强调，美国政府也有责任对那些在涉及核武器生产的私人设施中工作的工人作出交

在本期内

可获得资源的站点	7
国会通过核工人法案	15
铀与钷的特性	18
美国历史上工人受辐射剂量的限制	19

代。而且，作为这些地方所开展的工作的一个后果，这些工厂的邻居以及从事核武器生产的工人的家属也可能受到放射性和有毒物质的危害。

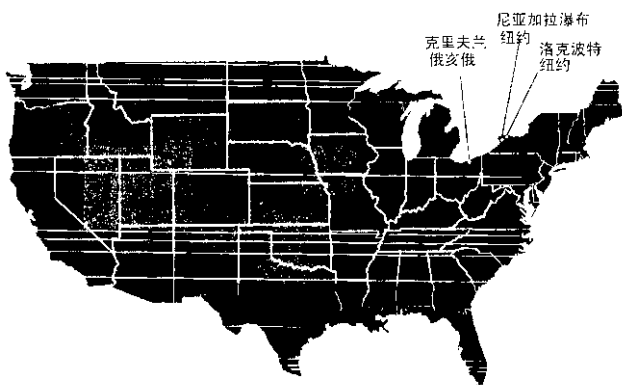
要获得能源与环境研究所报告的完全版，可以访问《今日美国》报网址：<http://www.usatoday.com/news/poison/docd ex.htm>，或联系能源与环境研究所。

能源与环境研究所为《今日美国》撰写的报告题为：“有关二十世纪四十、五十年代三座设施核材料处理过程中释放剂量的初步及不完全估计”。在该报告中，我们分析了在三个核材料处理设施中有关工人工作条件和受到放射线照射的一些资料。这三个设施是：

- ▶ 西蒙锯床与钢铁公司，洛克波特，纽约
- ▶ 哈绍化学公司，克里夫兰，俄亥俄
- ▶ 电子-冶金公司，尼加拉瀑布，纽约

这三个设施在四十和五十年代的部分时段都处理过铀，西蒙公司还处

能源与环境研究所报告中分析的核材料加工设施的地点



理过铀金属。这些设施从事金属轧断等工业活动，这些活动后来在政府拥有的设施中进行。

《能源与安全》

《能源与安全》是一份报导核不扩散、裁军和能源可持续性的时事通讯刊物，由能源与环境研究所 (IEER) 一年发行 4 次。

IEER 地址: 6935 Laurel Avenue, Suite 204, Takoma Park, MD 20912, USA

电话: (301) 270-5500

传真: (301) 270-3029

INTERNET: ieer@ieer.org

万维网地址: <http://www.ieer.org>

能源与环境研究所就广泛的问题向公众和决策者提供有见地的、明确的和稳妥的科学和技术研究报告。该研究所旨在向公共政策事务提出科学的意见，以促进科学的民主化和更健康的的环境。

能源与环境研究所成员:

所长: 阿琼·麦克贾尼

全球对外协调员: 米切尔·博伊德

图书馆员: 洛伊丝·查墨斯

簿记员: 戴安娜·科恩

对外协调员: 丽莎·莱德维奇

项目科学家: 安妮·麦克贾尼

行政助理: 贝特西·瑟洛-希尔兹

资深科学家: 斯里拉姆·戈帕尔

感谢我们的支持者

我们衷心感谢我们的资助者，是他们的慷慨资助使我们能够对从事与核武器有关问题的基层组织提供技术帮助、并开展我们的全球对外联络项目。我们的资助者是 W. Alton Jones Foundation, John D. And Catherine T. MacArthur Foundation, Public Welfare Foundation, Rockefeller Financial Service, John Merck Fund, Ploughshares Fund, Unitarian Universalist Veatch Program at Shelter Rock, Town Creek Foundation, Beldon II Fund, Turner Foundation, Ford Foundation 和 Stewart R. Mott Charitable Trust.

制作: Cutting Edge Graphics

编辑: 丽莎·莱德维奇

本期英文版于 2000 年 12 月出版

这一研究是对某些工种或工场的工人受到辐射的初步和不完全估计，并在该研究的基础上撰写了本文。该研究的目的是要起到计算样板的作用，以弄清是否至少在某些地点工作和从事某些工种的工人吸收的剂量足以引起严重的健康担忧。

我们没有评估对外辐射剂量。有清楚的迹象表明，至少在某些情况下，这些辐射对健康的危害具有实质意义。我们也没有尝试去评估非放射性有毒物质的影响，而这些有毒物质在许多情况下也可以实质性地影响人体健康。该研究在范围上必须是有限和局部的。彻底的调研需要比这一项目中得到的远为大量的文献、资料、时间和资源。

通过计算一个工人在典型工作日在某种特殊工作地点或特别工种吸入铀的数量，我们估算出铀吸入的剂量。

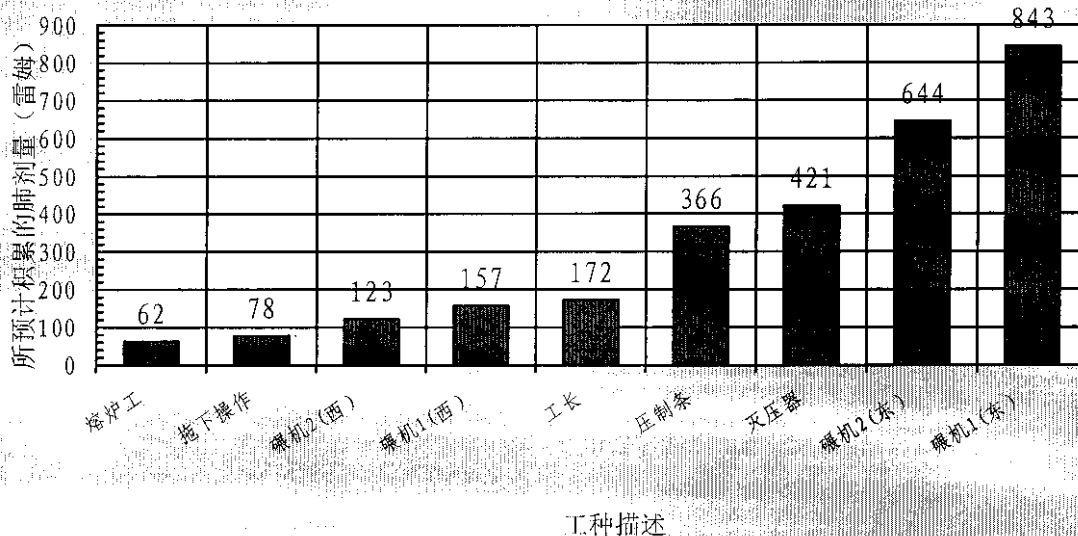
工人随时间累积而受到辐射的空气浓度通过设施中人员考虑工人在不同设施场地花费的时间估计而成。这儿显示的所有剂量估算被称为“确保剂量”，反映了这样一个事实，即单次吸入的辐射是通过考量整个时间段内剩余在身体中的吸入铀来判断的。¹

西蒙锯床和钢铁公司，洛克波特，纽约

自1948年3、4月间至1956年，2500-3000万磅铀金属在西蒙公司轧断成条。西蒙公司还轧断了3-4万磅钍金属。处理铀和钍的工作只占西蒙公司的一半工作时间，同样的机器还被用来在其余时间为商业用途轧断钢铁。

有足够的事实表明，该设施的建

表格1：预计西蒙锯床与钢铁公司于1948年4月1日-1952年12月31日间由于受到铀辐射而积累的部分肺剂量



建筑物及其周围的土地在加工放射性物质过程中严重受到污染。例如，即使用餐场所的空气都超过污染允许的程度。结果，即使在加工钢铁的过程中，工人们都受到放射性辐射，例如，通过再次悬浮起来的颗粒。我们没有试图评估工人在钢铁加工中受到的辐射。我们也没有试图估计食物由于恶劣的工业卫生受到污染所造成的结果。将所有这些因素包括在内将提高剂量估计。

我们使用可以获得的资料来估计到1954年8月6日来自铀金属处置过程中的剂量。我们没有涵盖1956年12月运作结束时其他阶段的调查资料。这样，此地展示的剂量是部分辐射估计，这低估了参加整个处理过程中工作的人员受到的剂量。

我们通过工种分类进行辐射估计。如果某人在整个阶段从事某一工作，这一剂量估计代表典型的预计辐射（有关不确定的讨论见下文）。如果此人从事的工作发生变化，该剂量估计不用于任何特定个人，而是指在特定阶段从事特定工作的个人出现的情况。

西蒙公司运营的释放物是典型的铀氧化物的混合物，其可溶性范围从完全不可溶到稍微可溶。一旦吸入肺中，要消除高度不可溶物质也许需要好几个月或几年，而稍微可溶的物质在几个星期内可以消除。然而，铀的较可溶形式还会转移到肾脏，由于铀的重金属性质而引起损害。

图表1显示一系列特殊工作的肺剂量估计。同一工作中的工人所具有的剂量也许比这高或低许多倍，取决

于特殊的工作时间和条件以及个人新陈代谢的差别。

工人们也受到钚尘埃的辐射。尽管处理钚的数量几乎比铀少1000倍，在处理钚过程中工人受到的辐射表现出具有实质意义，这部分是因为钚比铀导致数量更大的剂量。

西蒙公司的钚处理工作可能只进行了一个星期，但也可能进行了长得多的时间。基于可以获得的材料，我们不可能估算进行钚碾磨工作相当于天数的全日工作数量。因此，我们计算出相当于一周全日工作的钚剂量。我们估计，骨头表面受到超过一周的辐射，其剂量范围受工作条件和钚可溶性的影响，在约400雷姆至近2500雷姆之间变化。我们不具有基于所获资料选择可溶性混合的基础。如果这一工作开展几个星期，那么剂量估计将相应较高。

总体而言，看上去从事钚处理工作的特定工人受到的辐射可能很严重。我们无法以与铀相似的方式评估累积钚辐射，因为我们对所要求时间段的空气浓度缺乏即便是最小程度足够的资料。我们基于一周工作对受到钚辐射的估计显示，对于有些工人，受到的钚辐射也许与受到的铀辐射可以比拟，或许更多。最后，如果有些工人既从事与铀有关的工作又从事与钚有关的工作，他们受到的辐射累加。

哈绍化学公司，克里夫兰，俄亥俄

哈绍化学公司从事许多化学操作来为铀浓缩活动生产六氟化铀。半

日制工作开始于第二次世界大战期间的曼哈顿计划，在当时高浓铀被用于制造后来扔在广岛的核炸弹。哈绍的六氟化铀生产在战后逐步增加，在1947年得到实质性的扩展。

哈绍出现的铀的化学形式，其范围从高度可溶（六氟化铀）到高度不可溶（二氧化铀）。工业卫生条件很差，在有些情况下，按所有工作日平均，空气污染超过最高允许的几百倍之多。

假设工人们受到的辐射来自与辛辛那提附近费尔纳德核武器工厂中见到的同样的铀成分混合物，就象该工厂中至少部分人员可能出现的情况一样，在普通受辐射种类中，工人们的肺部受到的辐射剂量将有几百雷姆，不断累积。（哈绍公司工人受到辐射剂量的柱形图表见图表2）

我们的计算假设一个工作日工作8小时，每年平均每月工作20个工作日。在受到最严重辐射工人的案例中——该名工人长时间或在高污染条件

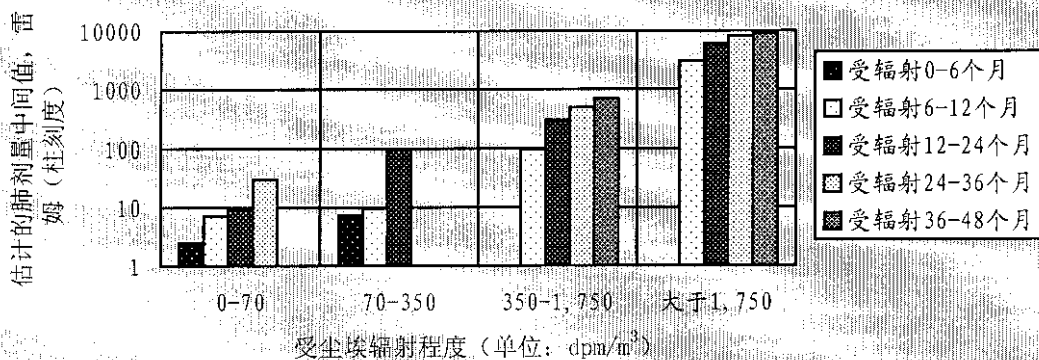
下工作，最糟的情况是，在同时具备以上两种条件的情况下工作——肺部积累辐射剂量达几千雷姆。

许多工人受到超过剂量限制的辐射，当时该标准是肺部每年辐射剂量为15雷姆。据估计在最高受辐射种类（8400雷姆）中肺部平均剂量相当于大约为1000雷姆的有效剂量。使用国际辐射防护理事会订立的患癌风险系数0.04%，或者说每10000雷姆造成4次死亡，我们可以估算出工人受到1000雷姆辐射而死于癌症的几率是40%。这比未受辐射者患致命癌症的风险高出200%。

如果铀具有更多可溶成分，所估算的辐射剂量和患癌风险将降低，但患严重肾脏毒化效应的可能性却高得多。工厂中的文件显示，有关于这种肾脏损坏的报道。

在这一范围有限的研究中，我们没有尝试系统地将对外辐射数量化。然而，即便是粗略地翻阅一下哈绍公司的文件也表明，至少对于一部分工

图表2：1945-1949年间哈绍化学公司根据雇佣时间和受铀尘埃辐射程度的雇员肺剂量中间值和分布情况



注释：每个柱子上方的数字代表在该特殊受辐射种类中工人的数字。没有柱子表明，在该种类中没有工人。dpm/m³是每分钟每立方米的衰变数。

能源与环境研究所就核工厂工人受到辐射在国会作证

2000年9月21日，能源与环境研究所对外协调员丽莎·莱德维奇在美国国会听证会上就核武器工人补偿问题作证。该听证会由众议院司法委员会移民与申诉小组委员会举办。

她谈到能源与环境研究所在核武器工厂工人受到辐射及现场以外射线释放的三项研究发现。这些研究包括刊登在《今日美国》报上的研究，1994年关于俄亥俄州弗纳尔德工厂工人辐射剂量的研究，以及对弗纳尔德释放到现场以外的辐射的研究。

能源与环境研究所已经发现，如果对工人受到辐射以及向外释放的射线进行仔细及独立的调查，其结果显示工人受到的过度辐射以及放射性对环境的释放高于官方宣布的水平。

在作证时，能源与环境研究所向国会提出三项建议：

1. 由于许多工人严重患病，濒临死亡，健康监测、治疗以及受影响工人的适当补偿是紧急的首要任务。在这些人受到伤害的事件中，政府及其合同商所承担责任在实践中的认知长期受到延误。
2. 很重要的一点是，不应该迫使工人为其受到的辐射提供非常详尽的证明。证实的责任应该由政府与合同商承担，它们不能保持良好记录，没有采用足够措施，并都习以为常地在工作条件不安全时向工人保证他们的安全。
3. 应该创制一套程序来公正、负责任地评估冷战的健康遗产。工人的参与在创制这套程序中应处于核心位置，因为他们总体上是受到辐射最多的人群。但是，应该明确的是，非工人也受到辐射，其中包括：工人们家属、顺风地带的住户、河流下游的住户以及其它邻近住户。应该开始建立程序来决定社团所受辐射如何可以公正、负责任地加以评估。

能源与环境研究所证词的全文在网上可以通过<http://www.ieer.org/comments/hrgo900.html>获得。弗纳尔德两项研究的概述发表在《科学为民主行动》第5卷，第3期(1996年10月)，网上地址为：http://www.ieer.org/sdfiles/vol_5/v5n3.html。

人来说，外部辐射，特别是来自增加贝塔射线辐射的钷-234和钷-234的外部辐射，也许很高，从而与来自内部钷辐射的问题混合在一起。

而且，六氟化铀的制造过程涉及使用包括氟气在内的毒性很高的化学物质。再者，当六氟化铀与空气中的潮气（克里夫兰地区在一年中至少部分时间潮气很大）接触时，它易于与水汽结合转变为氟化铀酰和氢氟酸，它们的毒性都很高。

电子-冶金公司(电冶)，尼亚加拉瀑布，纽约

铀金属在电冶公司从四氟化铀(也称为“绿盐”)中加工而成。这一过程包括将绿盐与镁金属薄片混合，

将该混合物置于高炉中，在其中绿盐分解为金属。历史上，该过程一向充满问题，有时候爆裂，在生产压力为特征的核时代最初二十年的条件下尤其如此。铀典型地是中度可溶与不可溶化合物的混合物，前者占优势地位，因为绿盐属于这一种类。

我们没有足够资料涵盖电冶运作的整个期间，电冶开始运作于曼哈顿计划期间，结束于1953年。我们知道，全日制的铀金属生产发生于四十年代后期，我们有工作地点发现的一些空气浓度范围，以及工作日的空气浓度。我们使用这些数字对一个人在240个工作日(一个工作年为48周，每周5天)进行剂量计算。对于在该厂运营阶段的大部分时间在此

工作的个人来说，受到的实际辐射可以预期相当高。然而，我们不能假设，受到的实际辐射是计算剂量的简单乘积，因为不能得到详细的空气浓度资料，而这些资料是对整个时期即使进行粗略估计所需要的。

电冶的工业生产条件非常差。由于工作场所超长时间高度污染的环境条件，许多工人明显地严重受到过度辐射。我们估计，对于生产工人，由于辐射在单独 12 个月期间的“确保肺部剂量”的范围从 50 雷姆到刚好超过 6,000 雷姆。受到最严重辐射的工人患癌症的可能性会很高，由于受到绿盐辐射，还可能出现肾脏受到重金属毒化的现象。

不确定性

我们估算中有两种不确定性。第一，工人们经历的条件有所不同，生理学方面的差距导致不同的新陈代谢率，等等。例如，在哈绍的一些工人可能主要遇到的是不可溶性铀，而另一些主要遇到的却是可溶性铀。从空气浓度的同样资料中可能产生一系列不同的剂量估计，这主要是因为剂量主要取决于假设中吸入材料的可溶性。

第二种不确定性与空气浓度的测量，该种浓度日与日之间的波动，铀特殊化学形式剂量转换系数的估计，以及放射性辐射效应的估计有

可 获 资 源 的 站 点

能源与环境研究所联合核衡算联盟，以及有社会责任的物理学家（组织）为社会活动家及其他相关人士构建了一个信息站点，其内容是关于新近披露的与核武器有关的工作在其中进行的美国私人公司。

该“被遗忘的核场址信息与行动站点”设计用来帮助那些设施周围的人群及以前的工人获得这些设施运行可能导致环境污染和健康影响的更多信息。它也就使联邦政府适当地关注这些问题的方法提出了建议。

该站点包括背景资料、报纸文章、以及政府部门的社团组织以及技术资源的资源清单。它还包括行动项目，诸如致编辑以及政策制订者信件的本。

2000 年 9 月 6-8 日《今日美国》报系列文章“被毒害的工人与被毒害的土地”披露了在美国二十多个州都存在的被遗忘的核场址。能源与环境研究所对其中三个厂址的分析在第一期主要文章中进行了概述。

要订购该站点，请联系：

核衡算同盟 | 1914 N. 34, Suite #407 | Seattle, WA 98103 USA

电话：1-206-547-3175 | 传真：1-206-547-7158

网址：<http://www.psr.org>

（核衡算联盟是个地方、地区以及全国性组织的网络，这些组织共同促进有关美国核武器综合体及相关设施等争议问题上的教育和行动。有社会责任的物理学家作为防止核战争物理学家国际组织的美国分支，是一个全国性组织，由医药界专业人士以及其他为消除大规模毁伤性武器、保持可持续环境以及减少个人间暴力做出努力的人士组成。）

关。

对任何一组工人受到部分剂量的估计可能很轻易地就比这里估计的数字高出或低出几倍。由于我们没有资料对单个工人受到的剂量进行评估，抑或甚至决定那些评估能否可靠的实施，特殊工种的相对低剂量辐射也许不能与单个工人的低剂量相对应。本研究的有限性以及计算的初步和部分性质不能成为对正式不确定性分析做出大量努力的理由。我们建议，使用更完全的材料进行更正式的努力。然而，有足够事实证明可以得出合理的确定结论，由于恶劣的工作条件，许多工人受到的辐射很高，而且远高于当时主流的法规。

除了这些不确定性以外，我们的估算是局部的，因为我们没有将外部剂量包括在内，而且在几个案例中我们没有对整个工作期间的剂量做出估计，这一因素将导致剂量估计系统地高于以上给出的数字。

虚假的保证

有足够的事实表明，工厂当局以及与其核武器项目加工材料的私人公司接洽的美国政府很清楚这些工厂中的工人在超长的时间段内正严重受到过度辐射。也有事实表明，美国政府通过向工人们隐瞒工作条件十分恶劣的实情，以及没有采取包括其承诺的经常性和大范围的尿液采样在内的必须水平的放射性剂量监测，蓄意误导有关健康和安全的问題。

许多文件讨论了不足够的污染控制，并建议加以改善，但它们仅偶尔

得到考虑。例如，在讨论哈绍工厂的问题时，一份文件声称：

这些发现[工厂中 90%的工人正受到超过污染“建议水平”的辐射，其中 76%的人受到的辐射超过该水平的 10-374 倍]与纽约运营办公室其它调查的结果相一致，并且表明目前用于控制释放阿尔法的粉尘和烟雾的设备和程序完全不够。²

在有些案例中，对于耗费资金去纠正预期将转为备用和不再用于生产的工厂中的问题显得很犹豫。在电冶转为备用至少一年前，原子能委员会的一份文件指出：

为了提供足够的粉尘控制，将不得不投入实质性数额的资金(50,000 至 100,000 美元)。象以前一样，广泛的尘埃辐射能否得到制止将取决于对为使备用工厂达到令人满意的卫生条件耗费是否适当做出的政策决定。...在接下去的一、二个月里，不能指望加工工厂中的通风装置会有重要改进，以将粉尘辐射消除到某种程度。³

一份文件清楚地表明了向工人们隐瞒与其工作健康风险有关信息的实践。在 1948 年 1 月给哈绍化学公司副总裁的信中，美国原子能委员会纽约运营办公室的主管写道：“很明显，浓度相当程度地高于 C 类区域常用的建议水平。”在同一封信中，他声称 C 类区域雇员被告知并将继续被告知“我们的所有记录表明没有不同寻常的危险存在……”

结论

这三个工厂中的工作条件十分

恶劣，是报道中美国任何工厂中最可怕的几个。根据我们的审查计算，许多工人受到的剂量可能已经超过1949年确立的每年15雷姆的肺部剂量限制。这些资料我们的计算还表明，受到最多辐射的工人由此辐射引起的患癌致命率很高。必须记住，尽管我们的剂量计算是局部的，而且没有涵盖工厂运作的整个阶段和所有种类的剂量，我们已经得出了这个结论。其它形式的健康问题，包括肾损害，也可能在受到较多可溶性铀辐射的额那些工人中出现。

我们没有40年代末至50年代初在苏联加工铀的核武器工厂中的可比资料。乌拉尔山南部一个反应堆和再处理工厂工人受到外部辐射的一些资料已经有报道。迄今为止，我们根据获得的实证假设，苏联工人受到的辐射远高于美国工人。⁴但是，我们在此做出的局部估计太高，以至于这一假设因这些被遗忘核武器工厂中的许多工人而也许需要重新研究。

我们还应该注意，健康损害的范围也许已经以我们在此初步报告中没有评估的方式扩展到这些工人的家属，以及普通公众。在我们研究西蒙工厂中产生的一个新结论是，作为加工钚232的后果受到的放射性辐射很严重。那种加工出现在其它几个地点（例如，包括弗尔纳德工厂）。这是一个需要更仔细评估的问题，因为工人们，其家属以及普通公众由于钚加工受到的辐射可能已经超过所怀疑

的，尽管加工钚的数量相对较小（与铀相比）。

很明显，核武器企业对社会的影响比想象的远为巨大。为受影响人群提供健康监测与医疗照顾，以及清楚危害的任务看上去比以前预期的更复杂。

* 阿琼·麦克贾尼是能源与环境研究所所长。伯恩德·弗兰克是德国海德堡能源与环境发展研究所科学部主管。泽里夫在做这一报告时是能源与环境研究所资深科学家。

¹ 我们使用美国环境保护署（K. F. 艾克曼等，“放射性核素吸入及空气浓度的有限价值与吸收、沉浸以及吞咽的剂量转换系数”，《联邦指导报告》第11期，华盛顿特区：美国环境保护署，1988年。有关方法论的细节和假设以及额外参考，请查看在《今日美国》网页上的报告全文，<http://www.usatoday.com/news/poison/docdex.htm>。

² 《1948年12月的月度状况与进展报告》，由原子能委员会纽约运营办公室提交，经理：W. E. 凯利撰写。1949年1月15日，第17页。

³ 美国原子能委员会，纽约运营办公室：《纽约运营办公室设施中生产和处理铀的健康风险（一份状况报告——1949年4月1日）》，由纽约运营办公室医疗部准备，1949年4月18日出版，第31页。

⁴ 阿琼·麦克贾尼等编：《核荒地：核武器生产及其健康和环境效应的全球指南》，（麻省，坎布里奇：麻省理工学院出版社1995年），第7章，第367页。

核工厂风险研究：令人丧气的质量

戴维洛克波姆¹

美国核能工厂发生事故可以比原子弹在长崎爆炸杀伤更多的人。²金融影响也可能是灾难性的。1986年切尔诺贝利核电厂事故使前苏联付出的代价超过1954-1990年间运行的苏联其它核能工厂运作所获得经济利益的3倍。³

但是，后果一项并不足以解释这种风险。发生事故的可能性同样重要。就象核工厂事故中显示出来的，当后果非常严重时，谨慎的风险管理表明，事故发生的可能性可以保持在很低。核规则委员会试图将核工厂运行对公众造成的危险限制到公众面临其它事故的风险的百分之一。

关切世界事务的科学家联合会研究了核电厂事故评估如何进行以及其结论如何使用。我们得出结论，风险评估有严重缺陷，其结果被不适当地加以使用，以至于提高了一一而不是降低了一一对美国公众的威胁。

核电厂风险评估不是真正的风险评估，因为没有对潜在事故的后果做出估算。它们仅仅研究了事故发生的可能性——只是风险方程的一半。而且，事故发生可能性的计算有严重缺陷。它们所基于的假设与事实上的运行经历相矛盾。

所有可能性的分析设定假设条件。例如，当你计算硬币抛掷一次人头向上的可能性为50%时，你假设了

该硬币不会竖起在其边缘上。对核电厂可能出现风险的评估建立在许多不现实的假设上，这些假设公然违背来自运行中核电厂的事实材料。⁴

假设：工厂在技术规范和其它规则要求下运行。

事实：每年违反技术规范 and 规则要求的情况超过1000次。该不现实假设的结果就是，在可能出现风险的评估中，核心损害频率非常低。通过在事实上不能做到时假设应急设备可以满足安全要求，可能出现风险的评估中所计算出的反应能力比有现实依据的要好。换句话说，核心损害频率事实上要高于可能出现风险的评估中所报告的。

假设：核电厂的设计与施工完全满足要求。

事实：风险评估假设设计与施工问题为零，而每年发现的该类问题数以百计。核规则委员会对运营资料分析与评估委员会在1985-1994年间记录了上报的3540起设计错误。⁵这意味着在整个十年间在美国的核电厂几乎每一天都有设计错误被发现。

假设：工厂老化没有出现；就是说，设备以恒定速度丧失效用。

事实：核规则委员会出版了多份关于由老化引起的核电厂阀门、管道、内燃机、电缆、水泥、开关及储罐品质下降问题的报告。⁶这些报告显示，核电厂的零部件遵循如下图所示的“浴缸型”曲线衰老过程。老化后果

的生动演示出现在 1986 年。四名工人在弗吉尼亚一家核电厂被杀身亡，因为一段管道因老化而腐蚀直到其破裂，其蒸汽烫到四名工人。⁷然而，绝大多数可能出现风险的评估假设没有老化效应。

假设：反应堆压力阀永远不出问题。

事实：经验已经表明，该假设象反应堆压力阀本身一样具有许多缺点和错误。1995 年，

关切世界事务的科学家联合会就核电厂反应堆压力阀的脆弱情况发表了一篇报告。⁸例如，麻萨诸塞州的扬基·罗尔核电厂于 1992 年关闭就是因为其反应堆压力阀随着时间的推移而变脆了。脆化的金属可能裂开，很象置于冷水中的热玻璃。尽管扬基·罗尔核电厂已被关闭，而许多其它核电厂中也有（压力阀）变脆的记录，但是，风险研究仍然假设反应堆压力阀失效的可能性为零。

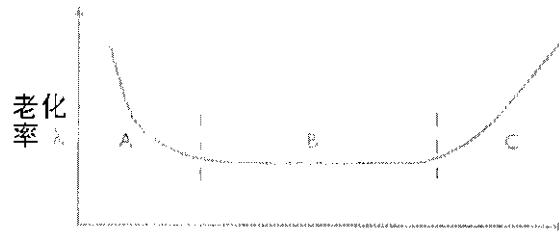
假设：电厂工人几乎不犯严重错误。

事实：2000 年 2 月爱达荷国家工程与环境实验室表明，有关工人行为不合理的假设继续成为一个问题。爱达荷国家实验室的研究人员 20 起近期在核电厂中的操作事件，他们得出结论认为，“在分析操作事件中发现的大多数有重要贡献的人为表现因素，是当前一版的可能出现风险的评

估中所缺乏的……[后者]没有很好地评估这些风险，如：潜在的错误，多种失败，或者分析中认为在这些操作事故中重要的那类错误。”⁹

假设：反应堆核芯损坏的风险有限。

事实：可能出现风险的评估仅确定导致反应堆核芯损坏事件的可能性。它们没有计算可以导致辐射释放的其它事故的可能性，例如：乏燃料池中的燃料接近临界，或者充满放射性气体的巨大储罐



老化率的“浴缸型”曲线

破裂。这些受到轻视的事件中的一些可能产生严重后果。例如：布鲁克黑文国家实验室的研究人员估计，乏燃料池事故可以释放出足以杀死几万人的放射性材料。¹⁰

历史表明，抛起的硬币停在其边缘的可能性比这些假设成为现实的要大。可能出现风险的评估中不现实的假设使其结果也同样的不现实。用计算机编程语言来说，“输入的是垃圾，输出的也是垃圾。”

而且，核规则委员会要求核电厂所有者履行该运算，但未能就事故可能性的计算制定最低标准。这样，报告中所指出的可能性对于事实上相同的核电厂设计来说大相径庭。四个案例研究清楚的展示了这一情况。

➤ 堪萨斯沃尔夫克里克核电厂与密苏里卡勒韦核电厂采用同种设计建造，使用的都是西屋公司的标准化设计。但是，更可能导致反

应堆核芯损坏的一些情况在卡勒韦上报的可能性是同样情况在沃尔夫克里克发生的 10-20 倍。

- 印第安的点 2 和点 3 核电厂采用西屋公司相同的设计，并且在纽约比邻而居，但由不同拥有者运营。从文件上来看，印第安的点 3 发生事故的可能性比其姊妹电厂高出 25%。
- 田纳西州的西阔亚和沃茨巴核电厂采用相同的西屋设计。两者还都由同一拥有者运营。较新的核电厂沃茨巴最初计算出发生事故的可能性比其姊妹工厂高出 13 倍。经过几次重新计算，沃茨巴发生事故的可能性现在仅为西阔亚的两倍。
- 由通用电力设计的核电厂装备了一套备用系统，以便在控制棒失效的情况下关闭反应堆。从文字记录来看，该备用系统非常可靠。然而，实际经验表明，它并不象风险评估中声称的那样可靠。

令情况变得更糟的是，核规则委员会正允许核电厂所有者通过减少安全设备的试验和检测而进一步提高风险。核规则委员会是基于不完整和不准确的事故可能性评估的结果来批准这些削减的。

当核规则委员会认识到核工厂不符合联邦安全条例时，它依靠计算事

故可能性来评估风险。核规则委员会——在核工业界的一贯压力下——最近接受了“被告知风险规则”的概念，在此概念下，许多安全条例被废除，而另一些规则的使用范围依据风险评估的结果被严重减小。而后，关键的问题是，为达成这些目标，风险评估是否精确到足以信赖。

核电厂风险评估不完全和不准的状况无法为核规则委员会逐渐接受被告知风险规则提供牢固的基础。

总的来说，任何核电厂中发生重大事故的风险并不清楚，因为尽管评估了事故发生的可能性（虽然其假设存在缺陷，定义及程序前后不一致），其后果尚未加以评估。下文将采用其它来源来弥补风险真空缺欠的部分。

核电厂事故可以通过释放放射性材料给公众造成危害。放射性材料放出阿尔法粒子、贝他粒子、伽玛射线，以及/或中子。这些释放被称为“电离辐射”，因为这些粒子在它们与其它物质作用时产生离子。¹¹

1979 年三里岛事故以后，桑迪亚国家实验室对向大气中释放大量射线的反应堆事故的潜在后果进行了估算。就当时运作中和接近完工的每家核工厂来说，桑迪亚确认了重大事故后可能释放的辐射数，该地区的天气条件以及该工厂下风向的人口数。当

错 误 更 正

《科学为民主的行动》第 8 卷第 1 期(1999 年 11 月)，第 13 页上由燃料电池提供动力的公共汽车的照片应该标明来源，它是伯拉德动力系统。

时，桑迪亚估计了由于受到辐射，第一年中将有多少人死亡或受伤。桑迪亚还对稍晚一段时间将有多少人会因为辐射引发的病症如癌症而死亡。致命率的早期估计从小型反应堆的 700 人到较大型反应堆之一的 1,000 人不等。癌症死亡的估计从 3,000 到 4,000 不等。受伤估计范围从 4,000 到 610,000。为了加以比较，扔在广岛的原子弹造成 140,000 人死亡，而长崎的原子弹爆炸杀死了 70,000 人。¹²

核电厂风险评估不完全和不准确的状况无法为核规则委员会逐渐接受被告知风险规则提供牢固的基础。核规则委员会进一步接受被告知风险规则之前，核规则委员会必须达成下列任务：

1. 就核电厂风险评估确立包括适当方法的最低标准，以：
 - a 对付这种情况，即核电厂可能不符合所有技术规范以及规则要求；
 - b 对付这种实际情况，即核电厂在设计、制造和建筑中也许有错误；
 - c 应付设备老化；
 - d 对付反应堆压力阀失效的可能性；
 - e 针对人为因素；
 - f 处理反应堆核芯损坏以外的事件，在这些事件中工厂的工人以及公众成员也许受到放射性材料的辐射（例如：乏燃料池事故以及放射性废料系统储罐破

裂）；

- g 处理核电厂事故对工厂工人和公众成员造成的影响；
 - h 为风险评估中使用的假设提供理据；
 - i 当假设变化时，对风险评估做出更新。
2. 要求所有核电厂所有者进行符合还是超过最低标准的风险——而不是可能性——评估。
 3. 要求所有核电厂所有者定期更新风险评估以反映核电厂和/或核电厂程序的变化。
 4. 要求所有核电厂所有者能让公众得到风险评估。

核规则委员会必须更加独立于核工业界

5. 在所有核电厂进行检查以核实风险评估符合或超过最低标准。
6. 在完成以上所列步骤前，不允许任何形式地使用风险评估结论在可以接受或不可接受的表现问题上划线。

核规则委员会方面要实施这些建议需要做出相当努力。不幸的是，核规则委员会也许无法实施这些安全步骤，因为它正受到美国国会的压力，要削减它的预算。为什么呢？核规则委员会是靠会费为生的机构。核规则委员会预算的大部分不是来自纳税人，而是来自核电厂所有者。这些核电厂主游说国会削减核规则委员会的预算。国会听取了这些游说，并照其办理。1987 年，核规则委员会拥有 850 名地区性和 790 名总部的工作人员。十年以后，逐年的预算削减已经将核

规则委员会的组成下降为 679 名地区性和 651 名总部工作人员。¹³在始于 101 家持证核电厂终于 109 家核电厂的十年间，核规则委员会减少了 20% 的核安全检查员。¹⁴

核规则委员会在资金方面必须更加独立于核工业界，以便于它可以在为时过晚之前适当地规范核工业界。

¹戴维·洛克波姆是关切世界事务的科学家联合会 (UCS) 的核安全科学家。本文的蓝本是他为关切世界事务的科学家联合会撰写的报告：“核工厂风险研究：降低等级”（麻省，坎布里奇：关切世界事务的科学家联合会，2000 年 8 月）。该研究报告可以向关切世界事务的科学家联合会订购（电话：1-617-547-552）或通过关切世界事务的科学家联合会网站下载：<http://www.ucsusa.org>。

²美国众议院，内政与岛屿事务委员会监督及调查小组委员会，“美国核能工厂取决于‘SST1’释放的反应堆事故后果（健康后果与代价）的计算”，1982 年 11 月 1 日；核规则委员会，“永久关闭核能工厂的普通热水堆和压水堆安全与规则评估”，NUREG/CR-6451，（华盛顿，特区：1997 年 8 月）。

³理查德·L. 赫德森，“新研究表明切尔诺贝利核灾难的损失剧增”，《华尔街杂志》1990 年 3 月 29 日。

⁴核规则委员会，“单个核电厂研究项目：关于反应堆安全与电厂表现的观点”，NUREG-1560，第 2 卷，第 2-5 部分，第 14-3 页，（华盛顿，特区：1996 年 11 月）。

⁵萨达那丹·V. 普兰尼，“核电厂的设计错误”，AEOD/T97-01，（华盛顿，特区：核规则委员会运行资料分析与评估办公室，1997 年 1 月）。

⁶核规则委员会，“核规则委员会核电厂老化研究项目，到 1993 年 9 月发表的报告的清单及综述”，NUREG-1377，Rev. 4，（华盛顿，特区：1993 年 12 月）。

⁷布莱恩·乔丹：“核规则委员会发现萨里事故具有‘高度’安全重要性”，《核规则委员会内部》，（华盛顿，特区：麦克格罗-希尔，1987 年 1 月 5 日）。

⁸罗伯特·波拉德：“美国核电厂——展示它们的时代——案例研究：反应堆压力阀变脆”，（麻省，坎布里奇：关切世界事务的科学家联合会，1995 年 12 月）。

⁹杰克·B. 罗森索尔致约翰·T. 拉金斯，“与顾问委员会反应堆安全人力因素小组委员会的会面，2000 年 3 月 15 日，SECY-00-0053，核规则委员会核电厂安全中人力表现项目，”（华盛顿，特区：核规则委员会，2000 年 3 月 6 日）。英文编辑按：该报告由爱达荷国家工程与环境实验室为核规则委员会准备。

¹⁰核规则委员会，“永久关闭核电厂普通热水堆和压水堆的安全与规则评估”，NUREG/CR-6451，（华盛顿，特区：1997 年 8 月）。英文编辑按：该报告由布鲁克黑文国家实验室为核规则委员会准备。

¹¹《联邦规则法典》，主题十，能源，第 20.1003 部分，定义。

¹²理查德·罗德：《原子弹制造》（纽约：西蒙与舒斯特），第 734 和 740 页，1986 年。

¹³核规则委员会核反应堆规则委员会办公室，“规则趋势”，（华盛顿，特区：1997 年 4 月）。

¹⁴萨达那丹·V. 普兰尼：“核电厂中的设计错误”，AEOD/T97-01，（华盛顿，特区：核规则委员会运营资料分析与评估办公室，1997 年 1 月）。

国会通过核工厂补偿法规

2000年10月，能源部雇员职业病补偿法案由美国国会通过，总统克林顿签署为法律。该司法文件设计用来向某些由于在职业过程中受到放射线辐射、铍或硅石辐射受到伤害的核武器生产工人提供健康照顾和补偿。

这是一个具有里程碑意义的联邦补偿项目。它向许多身患职业病而多年遭政府否认的工人提供帮助。它还增强了一种呼声，开始了强调对核武器设施的邻居造成损害的过程。然而，该法案并不完善，它没有涵盖所有在工作场地受到放射性和有毒物质辐射伤害的核武器制造工人。

该项目的条款包括：

- **补偿。**符合条件的工人或他们的家属将一次性得到总数为150000美元的补偿。那些符合条件者包括能源部、能源部合同商以及能源部上家的某些雇员，他们在能源部与核武器有关的项目中工作时受到放射线、铍或硅石辐射的伤害。他们的家属可以代表符合条件的雇员提出诉讼。
- **医药利益。**联邦政府将向符合条件的工人及其职业病提供医药利益。
- **被怀疑为“特殊受辐射群体”的利益。**对于患有放射性产生癌症的工人“特殊受辐射群体”，¹它假设他们的疾病来自在工作场地受到放射线的辐射。特殊受辐射群体包括田纳西、肯塔基和俄亥俄（分别是橡树岭、帕迪尤卡以及

普茨茅斯厂）某些气体渗滤工厂的工人以及在阿拉斯加的阿姆希卡岛试验场核试验中受雇佣的工人。对于实施该项目，如果美国总统确认：“（1）不可能足够精确地估计受到辐射群体的辐射剂量；以及（2）有相当的可能性这些辐射剂量也许已威胁到该群体成员的健康”，另外的雇员群体可以被认定为特殊受辐射群体的成员。

- **对于符合条件的认定。**非“特殊受辐射群体”成员的放射性癌症患者，只有在该癌症“至少象不与与核武器有关的工作有关一样可能时”，才符合条件。这意味着这些工人符合条件的风险不得至少翻倍（换句话说，工人们患特殊癌症的可能性是未受辐射人士的2倍）。证实的标准可以导致许多受辐射工人被排除在补偿之外，尽管他们可能由于受到辐射患上应当受到补偿的癌症，尽管他们受到的辐射也许已经高于法律所允许的。以上讨论的受怀疑利益条款也许会减轻这种试验的效果，这取决于其实施的方针（见下文）。根据该法规，特定辐射剂量的患癌风险可以用“流行病学表格中起因可能性上至99%的把握差别”来估计。这意味着，用于估计风险的起因可能性就特定剂量而言高于所使用的估算中间值。这在某种程度上也缓和了通过将风

险标准翻倍给适宜设定高门槛的效应。

- **权利。**通过权利消费项目为补偿提供资金。这意味着国会不再逐年决定将多少钱用于该基金，但该项消费在年度拨款过程中具有强制性、不受影响。(美国权利项目的另一例子是社会保险项目)。
- **强化对铀工人的补偿。**对患病的铀开采工、碾磨工和矿石运输工——根据独立的法律“放射性辐射补偿”——的补偿将由 100,000 美元提升到 150,000 美元；外加新法规提供给他们们的健康保险。
- **实施。**该法规规定总统应该在 2001 年 3 月 15 日前向国会提交一个法案以实施补偿计划。该方案将包括将提供补偿的种类、是否将特殊辐射群体扩大到新的雇员群、以及是否将该项目扩大到包括与受有毒物质有关的其它疾病。到 2001 年 7 月 3 日，国会将不得不对总统的方案采取行动。如果行政部门在该期限前没有采取行动，现有法规包括向某些核工人和铀工人提供补偿和医疗利益的某些部分将在 2001 年 7 月 31 日自动生效。
- **赔偿。**如果他们接受一次性总数支付和医疗利益，工人或其家属将不得起诉政府或其合同商。该法规下的偿付被视为彻底解决因所管辖疾病对反对美国——能源部合同商或转包合同商，铀卖方或核武器雇主的诉讼。

该法规没有规范受核武器生产和试验影响的非工人的问题。它也没有包括由于受辐射患了病的工人的家庭成员的医疗利益。在其有效期间，该法案不对工人因职业病所失去的工资做出补偿。不清楚是否所有工人——包括那些在象第 1 页主文中描写的那些私人设施中工作的那些人——会适合。

政府估计全国 4,000 名前核武器工人将适合于该项目。为了起该项目，国会授权在来年将 2.75 亿美元给予该项目。国会拨款委员会估计在该项目下，工人在下十年间可获得 14 亿美元利益，铀工人将另外获得 4.5 亿美元。该项目被采纳为 2001 财年防务授权法案的一部分。

要获得进一步信息，登陆能源部的能源雇员职业病补偿项目网址：<http://tis.eh.doe.gov/portal/feature/titlexxxvi.html>，或致电能源部工人补偿求助线：1-877-447-9756。

¹ 放射性产生的癌症被定义为胆管、骨、脑、胸、结肠、食管、胆囊、肾、肝、肺、卵巢、胰腺、咽、涎腺、小肠、胃、甲状腺、膀胱，以及白血病(慢性淋巴细胞白血病除外)、淋巴瘤(霍金森症除外)和骨髓瘤。

科学为民主的行动

《科学为民主的行动》已发行了八年，这是过刊的部分清单。

- 电离辐射 (健康效应、测量放射性、铀开采)——第 8 卷, 第 4 期(2000 年 9 月)
- 能源为和平 (嬗变、核能骗局、核废物)——第 8 卷第 3 期(2000 年 5 月)
- 核武器与法治 (外加: 导弹防御、《全面禁止核试验条约》、军备控制核查)——第 8 卷第 2 期(2000 年 2 月)
- 风对铀 (风与铀能源比较, 燃料电池, 致国家科学院评估放射性健康影响委员会的一封信)——第 8 卷第 1 期(1999 年 11 月)
- 放射性废物管理在俄罗斯与法国/对北约轰炸的效应 (外加: 健康与生物影响, 核条约最新进展)——第 7 卷第 4 期(1999 年 7 月)
- 美国高放射性废物管理的替代计划 (外加: 国际贮藏项目尤卡山不适合性的一些事实)——第 7 卷第 3 期(1999 年 7 月)
- 清除冷战垃圾 (能源与环境研究所分析能源部环境管理项目综述, 汉福德、弗尔纳德以及铀后废物的案例研究)——第 7 卷第 2 期(1999 年 1 月)
- 达成持续的核裁军 (条约、解除警戒、日程、核数字、核裁军步骤等)——合刊: 第 7 卷第 1 期以及第 6 卷第 4 期(1998 年 10 月)
- 核能: 没有解决全球气候变化 (外加: 京都协议, 能源-安全关系, 两用循环的代价对核电厂)——第 6 卷第 3 期(1998 年 3 月)
- 工人辐射剂量严重有误 (外加: 来自核试验尘埃的放射性电离剂量)——第 6 卷第 2 期(1997 年 11 月)
- 所需: 良好的放射性废物管理政策 (没有必要挤向尤卡山, 美国的放射性废物法规)——第 6 卷第 1 期(1997 年 5 月)
- 武器用铀作为反应堆燃料使用的技术方面 (混合氧化物, 铀、核查)——第 5 卷第 4 期(1997 年 2 月)
- 弗尔纳德邻近地区的放射性 (剂量重建与流行病学, 能源与环境研究所有关弗尔纳德工人受到剂量和场外释放的研究综述)——第 5 卷第 3 期(1996 年 10 月)

订购请联系能源与环境研究所。大批量订购, 我们要求捐助以支付印刷和邮寄费用。多期的法、俄、中文版有供, 有些还有日文和印地语。多期《科学为民主行动》和《能源与安全》(能源与环境研究所国际通讯)在我们的网址: <http://www.ieer.org> 上可以获得。

能源与环境研究所

6935 Laurel Avenue, Suite 204

Takoma Park, Maryland 20912 USA

Tel: 1-301-270-5500 | Fax: 1-301-270-3029 | Email: ieer@ieer.org

铀与钍的特性

不同形式的铀在铀材料处理工厂中出现。其范围从六氟化铀到不可溶的二氧化铀。六氟化铀易于与水蒸气结合转化为氢氟酸，一种腐蚀性极强的物质，¹相似的变量也存在于处理厂中钍的使用中。

	铀	钍
原子形式	U	Th
来源	自然界中少量存在	自然界中少量存在
一般形式	铀既具有放射性，也具有化学性。铀在自然界中有三种同位素。按质量，铀 238 占自然铀的 99.284%，铀 235 占 0.711%，铀 234 占 0.005%。铀 235 是在核武器和核电厂中使用的形式。然而，为达到以上目的，铀 238 经常被转化为钚 239。	钍既具有放射性，也具有化学毒性。钍在自然界中主要有三种同位素：钍 232 是基本的放射性核素。钍 234 和钍 230 在自然界中以钍 238 衰变链的部分产物存在。
衰变 ²	阿尔法，低能伽玛	阿尔法，低能伽玛
辐射	铀在自然界中存在，因此以微量浓度出现于食物、水和空气中。在铀尘埃很大的职业中，如铀材料处理和开采，辐射浓度增加很常见。	钍在自然界中存在，因此可能出现在空气、食物和水中。严重受到辐射最有可能出现在有铀尘埃时，就象工场上出现的情况。
排泄	肺中的粒子可以通过咳嗽或呼吸排出体外，也可能进入血液，通过肾脏，由尿液排出体外。食入的铀粒子可以由粪便排出。有些粒子留在体内，它们可能在肺中积聚起来，也可能进入血流，从而在人体组织中积累起来。	排泄方式与铀的相似。
对健康的影响	由于释放的阿尔法粒子和伽玛射线相对较弱，铀在人体外对健康的危害很小。然而，在铀矿工人和食取大量铀的动物中发现了肾病，这归结于该元素有毒的化学性质。由于其具有放射性，受到铀辐射增加了患肺癌、骨癌、淋巴瘤和软组织癌症的危险，在吸入或吞食铀时更是如此。动物实验表明，铀可能影响生殖和哺育胎儿。铀 238 也衰变为危险的放射性元素，如镭 226，氡 222 等衰变产物。	二氧化钍被美国有毒物质与疾病登记署划归为“已知的致癌物”。动物实验表明，钍可以通过皮肤被吸收，但钍在身体外几乎不对健康构成危害。受到钍辐射的工人已经表明，其患肺病、肺癌和胰腺癌的可能性增加。钍还被表明引起肝病、血液紊乱、以及遗传物质改变。已经表明，剂量大量急性（一次）吸收对动物引起金属中毒。受到钍辐射的动物中已经观察到生殖损害。

资料来源：毒性物质与疾病登记署：《毒性物质与疾病登记署公众健康声明：铀》亚特兰大，1990 年 12 月。
毒性物质与疾病登记署：《毒性物质与疾病登记署公众健康声明：钍》，亚特兰大，1990 年 12 月。

¹ 这一过程的化学方程式为： $UF_6 + 2H_2O \rightarrow UO_2F_2 + 4HF + \text{热能}$ (UO₂F₂ 为氟化铀酰)

² 放射性元素的原子核不稳定，这意味着它们转变为其它元素，典型地在这一过程中释放出粒子（有时候是吸收粒子）。这一过程被称为放射性衰变。铀和钍的衰变导致释放阿尔法粒子和微弱的伽玛射线。

美国历史上剂量限制每年规定综述

下表显示的是工人在美国从事工作时放射性保护标准主要部分的综述。一般而言，该标准随时间演进而越来越严格。对于公众的剂量早期限制在与对工人的相同，但在 20 年代后期下降为工人的十分之一，并在 1988 年进一步严格。下表仅列出发生最重要变化的年份。

年	剂量限制在 规定中作为 特例	每年的剂量 限制 ²	来源 ³	评论
1949 年前	0.1R/日 ⁴	36.5R	NBS 手册 第 18 期	30R 是基于 300 工作日订立的每年剂量限制。
1950 年	0.3R/周 3.9R/13 周	15.6R	NBS 手册 第 18 期	这两个剂量限制(第二栏)来自两份不同的报告,但最终得出相同的结论。15R 是基于每年 50 个工作周订立的剂量限制。
1954 年	0.3R/周(最 大) 15R/年 ⁵	15 雷姆	NBS 手册 第 59 期	标志着雷姆首次用于剂量限制。任何一周允许受到最多 0.3R 辐射。
1968 年	3.0 雷姆 /13 周 5(N-18) ⁶	平均每年 5 雷姆。见评 论	NBS 手册 第 59 期 之附录	首次引入一次以上剂量限制概念。一个阶段的平均剂量不应该超过每年 5 雷姆。见注解 6。
1988 年	5 雷姆/年	5 雷姆	能源部 命令 5480.11 ⁷	通过计算整体有效剂量增加的内部和外部剂量相等。

¹ 这些剂量限制由美国能源部(1977 至今)及其前身:原子能委员会(1947-1974),能源、研究与发展署(1974-1977)制定,所有的限制既针对外部辐射剂量,也针对内部辐射剂量,关键器官对整个人体于 1988 年被排除在外,当时外部辐射剂量加所有内部辐射剂量被要求包括在内。

² 对列出的前两列而言,每年的剂量限制由每日或每周限制的数量推断出来。

³ 四十年代和五十年代,国家标准局(NBS)公布了对所有受辐射工人的标准,原子能委员会及其后继机构通过颁布放射性防护内部守则和条例在其核武器工厂中采用了这些标准。

⁴ R=拉德,或辐射吸收剂量,这是表示吸收剂量的单位,相当于每克组织上贮存了 100 尔格能量。

⁵ 雷姆=人均伦琴数,或者考虑了相对生物有效性(RBE)的吸收剂量单位,或由电离射线将其能量置于身体组织的不同方法引起的相对生物损伤。

⁶ 平均剂量限制通过工人们在几年时间段内(受到的剂量)计算而成。它假设工人的年龄超过 18 周岁。该方程式 5(N-18)得出年龄为 N 岁的工人所允许的最大累积剂量。每年平均剂量限制为 5 雷姆。

⁷ 直到能源部条例 5480.11,总的剂量限制才包括任何内部辐射,整个人体是关键器官。根据能源部 5048.11 条例,相当于所有内部辐射的确定剂量将被包括在内。1998 年前,有效剂量等价值不作为遵从部分计算在内。

**It pays to increase your jargon power with
Dr. Egghead**

确保剂量

- a. 精神健康诊所开给的射线数量。
- b. 一种药剂，用来使仅在彼此间保持忠诚。
- c. 在放射性物质停留在身体的整个阶段中（上至 50 年）被考虑的辐射剂量。吸入放射性物质时，它逐渐从身体内消失，这样经过一定时间段剂量被吸收。因此，剂量与身体消除该物质的过程以及在身体中物质本身的放射性衰变有关。确保剂量取决于进入身体的物质的种类、结合成化学形式的可溶性、颗粒的大小、以及进入身体的途径（呼吸、吞食、通过伤口或通过皮肤吸收）

肺剂量中间值

- a. 与良好肺剂量相反。
- b. 精心策划使某人的贮藏地带遭受电离辐射
- c. 平均肺剂量，计算过程是通过 n 个单个肺剂量数相加，再用其总数除以 n。

可溶性

- a. 能够非常快速地出售其资产。
- b. 易于晒黑的能力，来自意为“太阳”的拉丁单词(sol)。
- c. 在溶液没有饱和的情况下，物质体(称为“溶质”)均匀地消失在介质(溶剂)中。溶质越可溶，在溶质没有从溶液中析出的情况下，一定量溶剂中能够容纳的质量越大。最常见的溶剂是水，但有机液体，如四氯化碳和三氯乙烯，通常在金属加工和其它过程中被用作溶剂。

概率

- a. 某些政客对“可能的”一词的发音方法。

- b. 探究的能力。
- c. 测量一种情况在多大程度上可能发生。



风险

- a. 计算机磁盘感染病毒的通俗称法。
- b. 一种在纸板上玩的家庭游戏，包括使用货币、虚构的不动产事件、以及小的塑料旅馆。
- c. 预期负面的外部事件将对生命、健康或财产造成的损害。

可接受风险(根据美国核规则委员会定义)

- a. 人们选择参与的一种活动，虽然它具有潜在的危害。
- b. 投票支持三个政治候选人中最优秀的一个这种行动的委婉说法，尽管该种行动可能有助于最差一方获胜。
- c. 一种情势，在这种情况下：(1)核电厂周围平均个体来自反应堆事故的直接致命风险不应该超过在其它事故中美国人口一般受到直接致命风险总数的 0.1%；以及(2)核电厂附近人口癌症致命风险不应该超过所有其它事故癌症致命风险总和的 0.1%。

答案：c, c, c, c, c, c, c



Sharpen your technical skills with Dr. Egghead's Atomic Puzzler



放射线探测狗伽玛及时后撤并在一些私人工厂的铀尘堆前狂吠不已，这些工厂在四十-五十年代间受雇于美国原子能委员会加工自然铀。但伽玛活生生地讲述了以下情况。从沾在它皮毛上的铀，他已经算出：

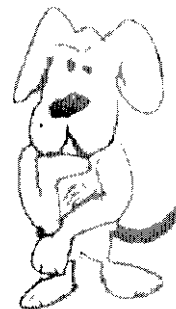
- 工人们呼吸的空气中的铀是每立方米 1200dpm (1 立方米等于约 264 加仑)
- 铀的可溶性一般，以至于每吸入 1 贝克铀尘 (=60dpm) 肺部受到的辐

记住：

- dpm 意为每分钟的衰变数。
- 贝克铀 (缩写为 Bq) 意为每秒衰变数 (dps)
- 1000 毫雷 (缩写为 mrem) = 1 雷姆
射剂量为约 4.2 毫雷姆 (这称为肺部剂量吸入的转换系数——这一特定数字与特殊溶解性的铀有关)

然后，伽玛开始估算如下：

1. 如果一个工人每小时呼吸 1.2 立方米空气，其 8 小时工作时间内吸入的贝克铀数；
2. 如果一个工人每年工作 230 天，在三年时间里他吸入的贝克铀数；
3. 肺部每天受到的辐射剂量；
4. 工作三年间肺部总共受到的辐射剂量；
5. 伽玛还将肺部剂量与当时主流标准——每年 (最高允许剂量) 15 雷姆进行比较。该工人每年受到的辐射是最大允许剂量的几倍？



将您完成的答案通过传真 (1-301-270-3029)，电子函件 (ieer@ieer.org) 或信件 (IEER, 6935 Laurel Ave., Suite 204, Takoma Park, MD 20912, USA) 寄给我们。