

# 能源与安全

能源与环境研究所出版 · 美国华盛顿 · 二〇〇〇年第二期

## 核废物转化：核炼金术赌博

安妮·麦克贾尼  
希斯汉姆·泽里夫

“研究核废物分离和转化对我们所有人来说都具有相当的诱惑力。这一研究需要新的再处理技术、新的燃料开发、额外的核数据、新的反应堆和辐照设施、新的核废物处置观念和特别的安全研究。全世界的核科学和工程界正受到这一机遇的挑战。”

“然而每个人都认识到通往希望之地的征程将经历险阻，同时我们尚不能确定前景是否会象我们所希望的那样光明。”

—SCK-CBN (比利时核研究中心) 保尔·高沃特于1998年11月25-27日在比利时所作的“铀类和裂变产品分离与转化第五次国际信息与交流大会欢迎词”。

“据预计，转化计划有助于总体上激活核研究与开发，并将吸引那些致力于以健康状态将核带入 21 世纪的有为的青年研究人员。”

—经济合作与发展组织/核能机构 1999 年《铀类和裂变产品分离与转化：现状与评估报告》第 253 页，“OMEGA 计划：日本核废物分离与转化研究和开发计划”。



美国原子能委员会“原子为和平”项目的流动展览，1957年。在艾森豪威尔政府期间提出的该项目下，美国为 41 个国家的外国反应堆提供高浓铀。

核工业面临的最大的障碍之一是如何处理核废物，这些核废物来自商用反应堆排出的乏燃料以及从乏燃料中提取钚所产生的高放射性废物。大多数国家喜欢用的将核废物与公众及环境分开的方法是将其深埋地下。

然而，由于乏燃料和高放射性废物包含许多长半衰期（几

### 在本期内

核电生产中的放射性废物.....	14
读者问卷 .....	22
解答问题，赢 108 美元.....	19

千年到数百万年)放射性核素,不可能确保核废物与世隔绝如此长的时间。除了某些长生命期的放射性核素可能泄漏以外,要保证没有人为干扰(无论是故意的还是无意)也不可能。第4页上的表1列出了人们关注的主要的长生命期放射性核素。

在确保核废物一定程度上与世隔绝以防止对资源主要是水资源的严重污染方面存在的极端困难的问题,使贮存地点的选择成为一个引人争论的科学和政策问题,并成为公众关注和反对贮存的焦点。进而,经常与选择研究地点相伴随的政治上的权宜之计则加剧了反对意见。尽管为存放乏燃料和高辐射废物择址的计划正在世界的不同地区处于不同的实施阶段,但仍面临着巨大的科技障碍和强烈的公众反对。美国已确定了一处贮存地点的开放时间,可能早至2010年,但美国仍未制定最终的环境标准,来保护拟建立在尤卡山的贮存地点的环境和下一代人的健康<sup>1</sup>。

与贮存地点有关的难题,特别是所需的极长的与世隔绝期,使有些人把长生命期放射性核素转化为短生命期放射性核素视为放射性废物管理的一个潜在解决方案。这种转化是通过在长生命期放射性核素的核心引发各种核反应来实现。其理论是转化计划将长期隔绝问题转变为难度较低的几十年或几百年的储存问题。

理论前景已使转化的支持者宣

## 《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, 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环境。

### 能源与环境研究所成员:

所长: 阿琼·麦克贾尼, 博士

全球对外协调员: 米切尔·博伊德

图书管理员: 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: 希斯汉姆·泽里夫

### 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进行自己的“核材料危险”全球计划。我们的资助者是 W. Alton Jones Foundation, John D. And Catherine T. MacArthur Foundation, Public Welfare Foundation, C. S. Fund, Rockefeller Financial Services, John Merck Fund, H K H Foundation, John Merck Fund, Ploughshares Fund, Unitarian Universalist Veatch Program at Shelter Rock, Town Creek Foundation, Beldon II Fund, Turner 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5月出版。

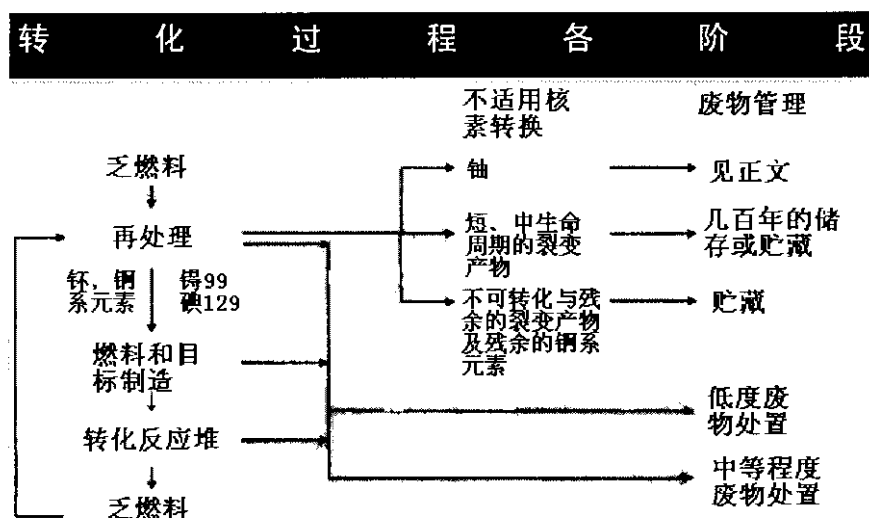
称，这将大大减少与长期管理有关的问题。他们有时甚至声称这会降低对贮存的需要，尽管随着对转化的调查的深入，此类主张会逐步减少。同时，环境、废物管理、成本和扩散方面的忧虑也已增加。能源与环境研究所已对作为一种废物管理观念的转化的优点和问题进行了评估。本文对我们的研究成果和建议进行概括<sup>2</sup>。

### 转化基本知识

转化是将一种放射性核素转变为另一种或两种或更多种放射性核

素。转化涉及将在某种形式核反应堆中发生的核反应。人们已提议了多种反应堆的设计方案，但它们具有一个共同点：必须将大量的能量传送到长生命期放射性核素的核内，以便引发核反应，将其转换成短生命期放射性核素或稳定元素。

放射性核素从其它物质中分离出来，选定进行转化的候选放射性核素。（在转化的背景下，再处理也被称做分离或分隔）这容许长生命期放射性核素和短生命期放射性核素在反应堆中接受辐照时实现有选择的转化。不通过再处理，相反类型的核反应将会产生相反的转化，把短生命期放射性核素转化为长生命期放射性核素。加工设施将长生命期放射性核素制造成燃料和/或转化对象，然后送到转化设施。转化设施由一座反应堆构成或由一个加速器、重金属对阴极和一个次临界反应堆共同构成。在反应堆中引发反



应的中子将长生命期裂变产物转变为短生命期的；中子还裂变铜类元素（例如钚）来产生新的裂变产物。绝大多数这类裂变产物为短生命期，但也产生新的长生命期裂变产物（参见下文）。

素。转化涉及将在某种形式核反应堆中发生的核反应。人们已提议了多种反应堆的设计方案，但它们具有一个共同点：必须将大量的能量传送到长生命期放射性核素的核内，以便引发核反应，将其转换成短生命期放射性核素或稳定元素。

本页的图表显示了一个理想的转化系统的主要组成部分。需要建立再处理工厂，通过把长生命期放

射性核素从其它物质中分离出来，选定进行转化的候选放射性核素。（在转化的背景下，再处理也被称做分离或分隔）这容许长生命期放射性核素和短生命期放射性核素在反应堆中接受辐照时实现有选择的转化。不通过再处理，相反类型的核反应将会产生相反的转化，把短生命期放射性核素转化为长生命期放射性核素。加工设施将长生命期放射性核素制造成燃料和/或转化对象，然后送到转化设施。转化设施由一座反应堆构成或由一个加速器、重金属对阴极和一个次临界反应堆共同构成。在反应堆中引发反

但是，即使精心设计的方案实

图表 1：人们关注的主要的长生命期放射性核素

放射性核素 (半周期以年计算, 两位有效数字)	类型	影响	转化潜力	转化问题
锶-90 (29)	中生命期裂变产物	产生废物的最初热量。决定贮存容量。侵入型剂量。在体内象钙一样发挥作用	无	由于中子捕获截面小而不能转化。形成乏燃料和高放射性废物的大部分热量。并因此限制转化中贮存容量的增加。
铯-137 (30)	同上	除了象钾一样在体内发挥作用外, 同上。还具扩散的放射性障碍。	无	同上。从裂变材料中分离, 则减少了防止扩散的放射性屏障。
锡-126 (100,000)	长生命期放射产物	地下水释放	困难	难以从乏燃料/LLW 中分离。转化需长时间。较低的同位素产生新的放射性核素。
硒-79 (60,000)	同上	同上	无	同上
铯-135 (2,300,000)	同上	同上	无	从铯 133 中产生更多的铯 135。由于存在铯 137, 同位素分离很困难。
钨-93 (1,500,000)	激活产物	地下水释放	无	稳定的钨同位素的存在将产生更多的钨 93。将需要成本很高的同位素分离。
碳-14 (5,700)	激活产物	地下水释放和/或气体释放。如二氧化碳; 融入有生命物质	无	中子捕获截面小。再处理操作中通常释放气体。
氯-36 (300,000)	激活产物	地下水	无	天然氯 35 的存在将产生更多氯 36
钨-99 (210,000)	长生命期裂变产物	地下水释放。影响甲状腺。	有。需慢中子	需要几个转化循环。
碘-129 (16百万)	长生命期裂变产物	同上	有。需慢中子	同上。分离过程中捕获有困难。加工对阴极有困难。可能产生腐蚀问题。
铀 (主要是铀 238, 45 亿)	钍族源物质	构成乏燃料的主体 (~94%)。比进行地质处置的 TRU 废物具有更高的放射性。	无。将象 LLW 一样分离和处置, 或象铀废料一样使用。	转化铀 238 将产生更多的钚 239, 这有悖于转化作为废物管理战略的目的。实际上会产生增殖反应堆经济。
钚-241 (430)	钍族	释放伽玛射线。侵入人体。地下水释放(钚 233 的母元素)。放射毒性。	在快堆中更合适	将需要多重分离和辐射循环。会产生钚, 这使后续循环更困难。
钚-237 (2,100,000)	钍族	地下水释放	快堆中更合适	形成更具放射性的短生命期钚 238
钚-244 (18)	钍族	释放强辐射的阿尔法和伽玛射线。有助于乏燃料产生热量。	困难。需要快中子反应堆	由于处理和化学问题, 很难从其它钍族元素中分离。将需要同其它钍族元素的多循环。需要储存几十年甚至一个世纪。在低钍族元素辐射中会产生更多的钚 244 和钚同位素(钚和钚)。
钚 (主要是钚 239, 24,000)	钍族	钚 239 裂变。放射毒性。侵入到骨骼。	非裂变同位素需要快堆。	抓取中子形成高同位素和高钍类(例如钚和钚)。

本表由下列内容改写和扩充而来: 经济合作与发展组织/核能机构的《钍族元素和裂变产物分隔与转化: 第五次国际信息交流大会文集》(1998年11月25-27日在比利时召开), 巴黎: OECD/NEA 1999, 第470页; 经济合作与发展组织/核能机构:《钍类和裂变产物分隔与转化: 现状和评估报告》, 巴黎: OECD/NEA 1999。

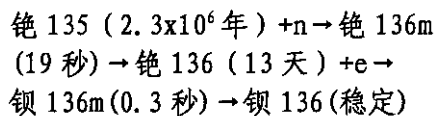
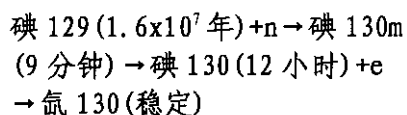
实际上也不能把所有的长生命期放射性核素转化为短生命期。构成轻水反应堆乏燃料重量 94% 的是分离铀，它的生命期较长并通常被某些裂变产物所污染。转化分离铀将产生相反的结果，因为几乎所有铀的转化途径都是把铀 238 转化为钚 239。其它长生命期裂变产物以及残留的超铀族元素也需要处理。因此，贮存和其它废物管理和储存设施仍是转化计划的关键部分。

如果我们了解转化物理的基本知识，转化计划的优点和困难就更清晰了。

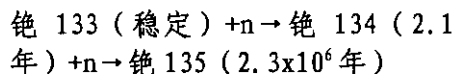
## 转化物理

对核废物管理而言，有两种重要的转化反应：中子捕获和裂变<sup>3</sup>。目标是将长生命期放射性核素转变成短生命期放射性核素。

碘 129 和铯 135 吸收中子为如下两个反应（括号内表示的是半生命期）<sup>4</sup>：



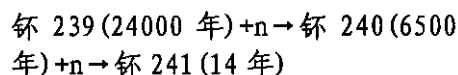
然而，中子捕获也会产生长生命期放射性核素，铯 133 就是这样：



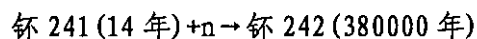
乏燃料中的铯是铯 133 和铯 135 同位素的混合物，两者不可能分

离，部分原因是由于存在具有很强放射性的铯 137 同位素，这使得铯的处理和加工极其困难、昂贵和危险。因此，显而易见的是，转化铯的好处会被铯 13 捕获 3 中子所产生的更多的铯 135 抵消。

下面这个例子（括号内表示的是半生命期，四舍五入到两位有效数字）表示的是钚 239 是如何通过两个连续反应被转化出来的：



但是，进一步捕获中子将产生钚 242，它具有较长的半生命期：

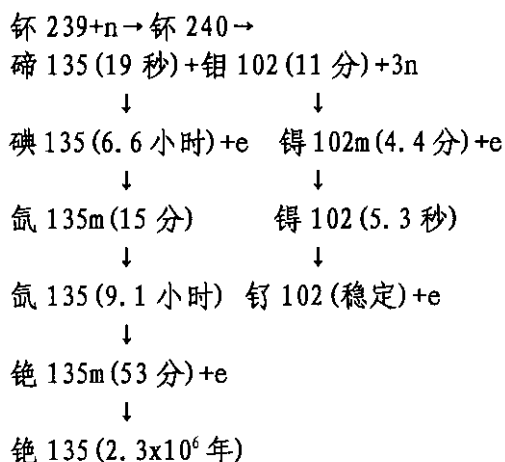


这说明转化核反应需要严密的控制，使其由长生命期放射性核素转化为短生命期放射性核素，而不再产生新的长生命期放射性核素。

还应注意的是，用钚 239 和钚 240 捕获中子即使使所有的钚转化为短生命期的钚 241 也不能解决消除长放射性核素的问题。这是因为钚 241 有其完整的衰退链。它衰退为镅 241，其半生命期为 430 年。镅 241 再衰变为镎 237，半生命期为 200 多万年。因此，大量减少长生命期超铀族元素，例如钚，通常需要裂变原子核。

裂变转化反应绝大多数产生的是可以衰变成稳定元素的短生命期裂变产物，但某些这类短生命期裂变产物还可以衰变成长生命期裂变产物。下面的例子说明的是两种短生命期裂变产物碲和钼的生产。它

们都经历一系列其它衰变。钼 102 衰变链包含短生命期放射性核素，直到钼成为稳定的（非放射）钆 102。铯衰变成长生命期的铯 135。



### 拟议的转化方案

现已有各种各样的转化方案被提出来。三种类型的反应堆（轻水反应堆、快堆和次临界反应堆）和两种类型的再处理被建议使用。下面的图表 2 表明的是与每种类型反应堆

有关的再处理的类型和用于转化的放射性核素的类型。大多数转化方案将使用多种反应堆和相关再处理技术。例如，某一个方案建议轻水反应堆使用混合氧化物燃料，也就是使用从低浓度铀乏燃料中提取的钚生产的燃料。然后，再处理混合氧化物乏燃料，超铀钚族元素将被提炼用作快中子反应堆（通常称作增殖反应堆）的燃料。接着，再处理快中子反应堆燃料，剩余的钚族元素将用作一种次临界加速器驱动的反应堆的燃料。

无论是就基本的物理原因还是

转化并没有消除人们对贮存高放射性废物和乏燃料的需要。

就实际原因而言，这些方案中没有一个是能够转化铀、铯 135、碳 14 和某些其它放射性核素。

第 4 页上的图表 1 表明了长期管理方面令人担忧的各类放射性核素和其在各种转化计划中的状况。

图表 2：转化方案

反应堆和中子来源	再处理和放射性核素	评论
轻水反应堆 (LWRs) (最普遍的商用核反应堆)：该反应堆是临界的，以低浓度铀或混合氧化物钚-钚作燃料。	再处理：水再处理 放射性核素：主要是钚，钨 99，碘 129	<ul style="list-style-type: none"> <li>产生高比例的钚族元素，并附带严重的放射性危险</li> <li>再处理产生大量液体放射性废物</li> <li>反应堆安全问题</li> <li>不能裂变绝大多数钚族元素</li> <li>积累大量超铀物质，产生废物管理问题</li> </ul>
快中子反应堆：该反应堆是临界的，可以使用钚、钚作燃料，也可能使用含有某些次要钚族元素的燃料。	再处理：在先进的方案中大多数是干再处理。 放射性核素：钚和一些次要钚族元素。钨 99 和碘 129 可能产生，但仅限于反应堆芯外的中等对阴极。	<ul style="list-style-type: none"> <li>受连续不断问题的困扰，快堆开发被停止</li> <li>裂变产物不能充分转化</li> <li>积累大量超铀物质，但比轻水反应堆少</li> <li>反应堆安全问题</li> </ul>
次临界反应堆：一种向次临界反应堆提供快中子的加速器对阴极系统。	再处理：可以是水再处理也可以是干再处理或两者的混合。	<ul style="list-style-type: none"> <li>该反应堆仅处于研发阶段</li> <li>成本预计很高</li> <li>反应堆安全仍是问题</li> <li>裂变产物不能充分转化</li> </ul>

## 残留废物

转化并没有消除人们对贮存高放射性废物和乏燃料的需要。前述的理论方案不可能转变成这样的现实：消除几乎所有长生命期放射性核素。第一，没有哪一个转化方案能够解决所有的令人担忧的放射性核素，因为许多放射性核素无法为实用目的而被转化（参见前述铯 133 和铯 135 的例子）。第二，转化得 99 和碘 129 即使通过反应堆的多个途径也不是百分之一百有效，并且钶族元素的裂变又产生了新的长生命期放射性裂变产物。第三，钶族元素的裂变也不是百分之一百有效。例如，对所有拟议中的方案的最好的估计是，转化 906 公吨超铀元素（美国的核反应堆在容许使用期内预计的产生量）将产生 2.4 公吨的残留物。残留超铀废物的成分将转向较高同位素的钶族元素，因此放射性更强。这将产生更大的放射性危险并使处置复杂化。最后，由于铯 137 将与铯 135 一起贮存处置，由此产生的大量热能意味着处置需要相当大的空间<sup>5</sup>。考虑到随之而来的不确定性、风险和成本，只有对长生命期废物进行上百年的储存才会缓解贮存容量的问题。

除了不能处理约占乏燃料中放射性物质重量 94% 的铀和相当数量的长生命期超铀放射性核素以及裂

变产物以外，转化还将产生大量的其它废物，特别是使用水处理时（参见第 15-17 页的数据）。转化还将某些物质从地理处置方法改变为低放射性废物处理方法，特别是当不适当地建议把铀作为“低放射性”废物处理时。与把所有乏燃料放置于一个合理选择和建造的地点进行处理相比，这可能对公众产生更全面的放射性风险。即使在核电逐步停止使用的背景下，转化也将需要几十年的时间来实施，可能需要几百年来完成<sup>6</sup>。这需要对废物进行国际控制，控制时间会长于可行的或理想的时间。

制定和执行大量增加分离用于制造核武器的物质的方案极大地增加核扩散风险。

## 转化的含义

实施前面讨论的任何转化方案对核扩散、环境和人类健康、安全、成本和核电的未来而言还具有一些含义。

**扩散。**所有的转化方案要求再处理超铀放射性核素。尽管这些方案可能不会产生吸引核国家的核武器设计者的物质，它们却可能被用于制造核武器对产生显著的核扩散风险，因为无核国家会寻求获得并使用它们。即使再处理方案被标上诸如热处理之类的不会核扩散的标签，它们也可以被轻易地改造为提炼达到足以制造核武器纯度的钚。由于其紧凑的结构和在建立足够防护方面存在的问题，这种类型的设施事实上会增加核扩散的风险。进

而，推广转化作为一种废物管理方法，可能会导致该项技术的广泛转让。镎 237 和镅 241 之类同位素的分离也会增加核扩散风险，因为这两种放射性核素也可以用来制造核武器。制定和执行大量增加分离用于制造核武器的物质的方案极大地增加核扩散风险。

**环境和健康。**任何转化方案都要求的再处理是燃料循环中最具危害性的一部分。它向空气和水中释放大量的废物和放射性物质。其对工人、现场外的居民甚至远距离外的人群的健康影响已有很多记载。例如，爱尔兰、挪威和冰岛要求英国和法国清除其向海洋中排放的所谓的“低放射性”废物就是基于对健康和环境的担忧。由于燃料加工不涉及产生液体废物，其影响主要限于工人，并且影响顺序与再处理部门工人所受影响的顺序一样。对反复辐照燃料进行处理增加了放射

性危险，这是一个令人严重关注的事由。最后，许多转化方案要求增加高放射性废物的运输，这将增加运输事故的概率。

**反应堆安全。**转化将要求开发并实施新的反应堆技术和/或扩大使用现存的反应堆。某些新的反应堆被形容为“始终安全”。然而，与现存的反应堆相比，某些安全特性的改善被其它安全特性的减退和新反应堆的安全问题所抵消。例如，现存反应堆中用于防止反应失控的反馈效果在某些转化反应堆中并不存在。以加速器为基础的系统具有关闭中子来源的能力，其反应堆通常为次临界类型，这使其具有某种安全方面的优点。另一方面，这些系统在紧急情况下严重依赖关闭中子来源的能力。还有必要确保当新的燃料在反应堆中时，外部的中子来源不全力运作，否则反应堆可能会变成超临界的。

## 专有词汇

**钍族元素：**周期表上的一组元素，包括钍、铀、镎和镅。超钍钍族元素是指周期表上在钍之上的钍族元素，主要是铀。次要钍类指的是钍和钍以外的钍族元素（主要是镎、镅和钷）。钍族元素元素具有广泛的相似的化学性质。

**水分离：**使用水媒介（例如，水中的硝酸）分离放射性核素。

**贝它衰退：**在放射性衰变过程中，元素的原子核释放电子或正电子（与电子一样的粒子，但带正电）。

**衰退链：**导致稳定的原子核的一系列放射性衰退。

**干分离：**用电子化学技术分离放射性核素。

**裂变产物：**重元素裂变产生的任何原子。裂变产物具有放射性（基本上通过贝它衰退产生的）。

**中子：**比质子稍重的基本粒子，不带电。原子核包含质子和中子（质子数决定元素，核粒子总数

决定同位素）。中子捕获指的是原子核吸收中子变成一个新的同位素。热处理：一种建议使用的电子化学分离形式，使用以金属为基础的转化反应堆燃料（例如，那些为以加速器为基础的转化或快中子反应堆使用的燃料）。

**再处理：**对在放射性乏燃料中分离元素的通称。

**次临界反应堆：**一种用外来中子补充内部产生的中子以维持链式反应的核反应堆。

**超临界：**指反应堆每一次裂变产生更多次后续的导致脱离链式反应的裂变的时候。不包括严格控制的案例，即通过使之短时间超临界而以一种可控制的方式增加反应堆的动力。

**对阴极：**指在中子加速器转化方案中，一旦遭到来自加速器的质子的撞击便通过一个叫蜕变的过程释放中子的物质。该词汇还指成为辐射对阴极的已分离放射性核素。



**成本。**转化的成本，特别是为显著减少锕族元素而需要的高级方案的成本，相当昂贵。而且，尽管生产出的电力抵消了一些成本，但要得到充足的开支仍极不可能。在预计其生产的电力能弥补一些开支的情况下，转化也将需要上百亿美元，运营期间还需要额外的辅助费用。

**核电的继续使用。**人们并不是仅仅在为了管理核反应堆目前产生的废物的背景下才考虑转化的。绝大多数转化方案，特别是在欧洲和日本的，都假设无限期继续使用核电，转化只作为新的核燃料循环的一部分。通过假定解决了核电目前存在的问题，某些人视转化为确保核电持续增长的根本所在。

## 结论和再建议

我们的主要发现是转化方案不会解决长生命期废物管理问题。几乎所有拟议进行转化的废物都包含铀，根据目前的官方建议，铀将被当作低放射性废物处置，这样的处置产生了比在仔细挑选和建设的地点进行贮存的处理方法更大的危险性。此外，转化之后残留了相当数量的超铀物质和长生命期裂变产物。大量的新的废物也将产生，随之而来的是新的核扩散危险和高成本。尽管存在这些严重的限制，转

化仍被一些人视为“诱人”的研究领域和激活“核选择”的根本。把转化当作一种废物管理技术加以促进的评估在分析上存在严重不足，并且主要是那些想继续使用核电的人作出的。

鉴于这些结论，能源与环境研究所的主要建议是，由于没有良好的技术基础支持继续下去，转化作为一种废物管理技术应该放弃。

---

<sup>1</sup> 要了解更多有关长期管理核废物的信息，参见《能源与安全》1999年第2期。

<sup>2</sup> 本期出版后不久，能源与环境研究所的详尽报告将评估转化技术。

<sup>3</sup> 转化还可以用光核反应，使用能量光子引发转化。光核转化计划面临着与本文讨论的计划相同的主要问题，而且其开发的程度还比不上本文讨论的计划。

<sup>4</sup>  $n$ =中子； $e$ = $\beta$ 粒子； $m$ =亚稳定（不立即衰退为基态的原子核的激发状态）。

<sup>5</sup> 在此案中，铯 90 也可能被做贮存处理，因为它的半生命期与铯 137 相似。

<sup>6</sup> 国家研究委员会：《核废物：分离与转化技术》，华盛顿国家科学院出版社 1996 年，第 5 页和《OECD/NEA1999 年状况和评估报告》，第 204 页。某些转化方案将储存中生命期裂变产物达 600 年，以使其衰退（卢比等人：《作为地理储存替代方案的能源放大器中的快中子焚烧：西班牙案例》，载 CERN/LHC/97-01，日内瓦欧洲核研究组织 1997 年 2 月 17 日）。

## 核电：冷战的宣传工具

阿琼·麦克贾尼  
米切尔·博伊德

根据阿琼·麦克贾尼和斯科特·塞尔斯卡  
著《核电的骗局》<sup>1</sup>

*“我们的孩子们将在家中享用非常便宜的电能，其价格便宜到不需用计量器计量...，这并不是过高的期望。”*

——原子能委员会主席刘易斯·斯兆斯 1954 年讲话称

*“热能将十分充足，甚至可以用于融化下的雪... 中央原子能电厂将提供社区需要的所有热量、照明和动力，这些设施如此便宜，以至于其成本可以忽略不计。”*

——第一个原子链反应的发生地芝加哥大学的校长罗伯特 M. 哈特亲斯 1964 年讲话称

第二次世界大战刚结束时，有关核电将极端便宜并且不会枯竭的想法受到人们极大的关注。仿佛是故意与原子弹造成的战时的恐怖相对照，人们以激动的词汇描绘核能的未来，以唤起人们对和平、繁荣和富足的憧憬。

原子能委员会（AEC）主席刘易斯在 1953 年时“对原子能的未来充满信心”，并且相信上帝将引导核电的发展。美国国会也发起了烧。它的幻想体现在 1954 年原子能法案中，这是一部以与制造核武器相一致的方式界定原子能商用化的主要法案。该法案称：

原子能的开发、使用和控制应得到指导，以便促进世界和平、改善基本福利、提高生活水平和增强私营部门的自由竞争。

为改善“基本福利”而运用核能将“一直服从最大限度地有利于防务和安全这一最高目标”。

美国想给世界一种原子能无害的印象，尽管它建立了庞大的武器库，拥有更为强大的武器。有关核电的不准确和误导的言论以及技术上的虚张声势很快变成遍布美国的冷战歇斯底里的一部分。到 80 年代早期，很明显的是，不仅在迈恩（Main）街而且在华尔街，核能都远不是“便宜得可以不用计量器计量”，而是非常昂贵、负担不起。但其它一些含糊的主张占据了主流，例如，核工业可以建造“固有安全的”反应堆，或者核电可以成为解决温室气体排放问题的可行方案。<sup>2</sup>

### 和平利用原子能

自苏联 1949 年进行第一次核试验以后，美国决定加紧研制氢弹。它开始设计、制造并实验核武器，建立了内华达试验地点。苏联经历了相似的过程。美国 1952 年 10 月 31 日试验了一个热核装置，苏联于 1953 年 8 月 12 日也进行了试验。

原子能委员会专员詹姆斯·穆瑞注意到，由于美苏都在加紧进入热核

武器时代，所以把公众注意力从核弹转移到民用发电上得到了“宣传”的好处。这种宣传将表明美国是和平利用核能的推动者，与苏联实施热核计划所造成的恐怖形成对照。除了将苏联装扮成军国主义者（尽管苏联同时也发展核电厂）而获得宣传利益外，美国急切地大规模从事商业民用核能生产的另一个方面是担心如果美国耽搁了，苏联将首先实现这一目的。事实表明，苏联（1954年）和英国（1956年）均在美国（1957年）之前成功地生产了商用核电。

针对美苏核军备研制和试验，1953年12月艾森豪威尔总统准备了一份致联合国的讲话。该讲话的初稿集中描述原子和热核武器所具有的可怕的毁灭性。在修改稿中，一部分内容生动地描述了核武器的力量和恐怖，另一部分以激动的词汇描述了和平利用核能的前景。

艾森豪威尔在其讲话中集中大量篇幅鼓吹民用核电开发，这成为“和平利用原子能”计划。艾森豪威尔在讲话中称：

美国寻求的不仅仅是减少或消除军用核材料。

一个特别的目的是为世界上缺电地区提供充足的电能。因此，富有建设意义的大国应该致力于服务人们的需要，而不是制造恐惧。

根据和平利用原子能计划，各国将把裂变材料交给一个新的原子能机构，该机构将由联合国帮助建立，旨在防止核武器扩散，同时帮助开发核能。艾森豪威尔还勾画出了这一新机

构在分配裂变材料和向世界各地提供专家方面的职能。

艾森豪威尔认为核能会从一种开发技术“迅速转变成”“普遍的、高效的和经济的”利用手段的论断并不是建立在良好的分析的基础上的。相反，它把人们早期有关核电的论断变成了冷战中精心设计的工具。在核能上，冷战的意识形态对立面之间并没有不同的观点。苏联的真正信徒至少也热心于核能，这与列宁的著名的权威论断：苏维埃加电力等于共产主义加斯大林的对大规模工业项目的热衷相一致。

一个半世纪之后，美国的和平利用原子能政策在核不扩散条约第IV条款中得到了更加正式和热情的表述，它保证每一个签字国享有核技术利益包括核能（第IV条款全文在第14页上）的不可分割的权利。仅仅二十几年的时间里，核能被提升到这样的地位，与不仅是美国的奠基者，而且是全世界都热望的“生命、自由和追求幸福”的权利相媲美。

对许多摆脱殖民主义、渴望迅速缓解经济困境的国家的领导人而言，核能仿佛是象征其新获得的自由的国旗和国歌一样的实实在在的东西。核能是“现代化的东西”，并且象钢铁厂和国家航空公司一样，被认为将推动落后前殖民地迅速发展，成为工业化国家的一分子。即使在甘地大力倡导不同于西方的发展道路的印度，也未对西方的这种主张进行过独立的评估，尽管印度在40年代末已经具备这样做的科技能力。<sup>3</sup>

## 原子能的怀疑者

对核能的真正信徒来说，不幸的是，有关核能“非常便宜，以至于无须用计量器计量”的想法只不过是自欺欺人和宣传的混合物，毫无技术基础。实际上，全部技术评估，无论是曼哈顿计划秘密进行的评估还是 40 年代末 50 年代初政府、工业界和学术界进行的研究，都得出相同的结论。核能将难以控制并且在相当的时间内与燃煤发电相比不具有竞争力，虽然它比煤炭更具有竞争力，特别是在煤炭价格上涨的时候。没有人得出结论：核能非常便宜，更不用说“便宜到不需用计量器计量”了。

据通用电器研究所副总裁兼主任 C. G. 秀茨 1950 年 12 月的讲话称：

目前，核电代表的是一种成本极高和极不方便的能源获得方式，人们可以从常规燃料中更经济地获取能源...当前，核电经济还不具有吸引力，在未来相当长一段时间内也是这样。这是一种昂贵的能源，并不象公众被引导相信的那样。

另一个例子是，原子能委员会 1948 年向国会递交了一份报告，报告中指出了“对核电面临的技术困难的性质和解决这些困难所需的时间存在毫无理由的乐观”。包括恩里科·费米、格伦·希伯格、和 J. R. 奥本海默等人在内的该委员会甚至对燃料成本也不具有一致的乐观态度，而低成本是核电比矿物燃料发电更具竞争力的最低要求。

40 年代和 50 年代期间，美国进行了相当的转化工作。二战前和二战期间，美国的石油供应自给自足。但在这十年中，汽车数量大增以及其它方面使用石油的迅猛增长，使美国到 40 年代末成为持续的石油净进口国。到 60 年代，美国石油消费量的近五分之一来自进口。杜鲁门总统任命过一个总统物资政策委员会，该委员会在 50 年代初就资源形势进行了一个官方调研。该委员会后来用其主席的名字被称为佩利委员会。

在能源部门，佩利委员会阐述的首要关注的问题是石油。其 1952 年的报告预言 70 年代将出现石油短缺。而且佩利委员会对核能作出了相当消极的评估，并呼吁“对太阳能进行积极全面的研究—这种努力是美国能对世界人民的福祉作出的巨大贡献”。该委员会还鼓励开发风能和生物量的工作。然而，尽管该委员会做出了有关结论，但直到 70 年代美国遭受石油危机的打击，才采取重大的开发可再生能源的行动。

鉴于人们估计核能最多只能满足能源需求的一少部分，因此大力寻求核能而不积极开发太阳能和其它可再生能源似乎是不合逻辑的。很明显，可再生能源在冷战中不能提供象核能一样的宣传资本。有趣的是，政府缺少对可再生能源的资金投入，同时，公司也不从事这方面的研究工作，科学家和技术人员对此也缺少兴趣。

## 持久的错觉

核电的历史并未支持其支持者的

希望。在核反应堆首次点亮电灯<sup>4</sup>后差不多半个世纪里，工业化国家对核反应堆的定单几乎是零。在核电生产商和其它核贩子的定单簿上更多的是向发展中国家的销售、对现有反应堆的维修和退役。在美国，自 1978 年以来不再有新反应堆的定单，1974 年和 1978 年间的定单也被取消。即使核电占其全国电量五分之四的法国现在也承认使用天然气的电厂比核反应堆更经济。

1986 年，切尔诺贝利核电站展示了一起严重的核反应堆事故的可怕的、广泛的、持久的并且在很大程度上无可挽回的后果。每一种商用核反应堆的设计都具有发生此类灾难性事故的脆弱性，尽管发生事故的几率和特别的事故机制会因不同的反应堆和在不同的国家而不一样。

尽管与先驱者们的希望相比核能的表现令人沮丧，但世界上绝大多数国家的政府似乎并不愿意放弃，其原因是复杂的，超出本社讨论的范围。似乎部分是由于无核发展中国家感到，西方该技术的主要拥有者把该技术当作要求其放弃核武器的筹码，不公平地剥夺了《核不扩散条约》第 IV 条款保证它们得到该技术的权利。核电是“高”技术的标志的想法也是一个重要原因。

然而，执行《核不扩散条约》第 IV 条款并不是问题所在，因为核能从许多不同的观点来看，都是不经济和不理想的。甚至称其为“高”或“先进”技术都是夸大的。例如，设计建造光电元件和建设从多种来源和电站

获得能源的可靠的计算机控制配电网，在许多方面是需要比设计和建造核反应堆更复杂和先进的技术的。

在迫于严峻现实，核能“便宜得不用计量器计量”的想法破灭之后，核工业界一直以环境和不扩散作为其发展核电的部分理由。其代言人称，核电是降低污染物主要是导致全球变暖的二氧化碳的排放的首要因素。然而，这一主张忽视了作为该技术固有部分的铀开采和放射性废物对环境的影响（参见第 15-17 页）。而且，能源与环境研究所的分析已表明高效天然气电厂每单位投资可以比核能减少更多的温室气体排放。<sup>5</sup>矿物燃料的问题和核能的问题不可同日而语。人们仅为防止天气变化就应该忍受象切尔诺贝利这样的灾难性隐患吗（参见第 18 页）？

在冷战的早期，许多核能的支持者建议军用钚生产应用于补助商用核电站。冷战结束后，有人建议将多余的军用钚用作反应堆的燃料来资助现存的电站。核工业界声称这将有助于“化利剑为耕犁”，因为从核武器拆下的多余的钚将用作商用核电站反应堆的燃料。然而，为把钚变为“商用”物品，这种计划需要财政支持和物质基础设施建设，还伴随核扩散、环境和成本方面的担忧。<sup>6</sup>

为了对付安全担忧，核工业界一直在改进第 2 代商用核电反应堆（参见第 1 页文章），支持者已将某些这类反应堆称为“固有安全”的。安全问题是核心问题，因为在三里岛和切尔诺贝利事故后，公众对核工业界的

### 核不扩散条约第IV条款

1. 本条约的任何解释不得影响本条约缔约国不受歧视地并依据本条约第一和第二条款为和平目的研究、生产和使用核能的不可剥夺的权利。
2. 本条约所有缔约方承诺帮助并有权参与为和平利用核能而进行的设备、物资和科技信息的交流。条约缔约方在采取上述行动时，还应该单独或与其它国家或国际组织一起促进和平利用核能方面进行合作，特别是在无核缔约方的领土内，并合理考虑发展中地区的需要。

资料来源：国会研究机构，《核扩散事实录》（华盛顿特区：美国政府印刷办公室），1980年9月。

论断的怀疑显著增加了。但是，不管认为可以免于发生融化事故的论调正确与否，“固有安全”的术语更具有的是修辞上的优点，而不能在技术上令人满意。尽管设计比现有的反应堆相对更安全的反应堆是可能的，该技术也不能视为具有“固有安全”的特性。所有拟议的反应堆都有发生严重事故的可能性。

现在有更好和更安全的能源。<sup>7</sup>

应该把核能作为上一个世纪失败的梦想而加以抛弃。我们可以并且必须放弃虚假的“原子为和平”的宣传，代之以既可以造福现代人又有利于保护子孙后代安全和环境的“能源为和平”计划。

<sup>1</sup> 参见《核电骗局：从核电“便宜得不用计量器计量”到“固有安全的”反应堆的美国核神话》，Apex 出版社 1999 年。除非另有注释，所有参考内容均可在此书中找到。

<sup>2</sup> 替代燃煤电站使用核电而减少的温室气体的排放量，与使用现代混合循环天然气电厂所减少的温室气体的排放量的对比，参见本刊 1998 年 3 月第 6 卷，第 3 期。

<sup>3</sup> 乔治·佩科维奇：《印度的核弹：对全球核扩散的影响》，伯克利加州大学出版社 1999 年，第 15-21 页。

<sup>4</sup> 1951 年，实验性增殖反应堆 I 首次生产了电能，点燃了一个电灯泡。该反应堆和该灯泡存放在爱达荷州的一座博物馆里。

<sup>5</sup> 参见本刊 1998 年 3 月第 6 卷，第 3 期。

<sup>6</sup> 参见本刊 1997 年 2 月第 5 卷，第 4 期。

<sup>7</sup> 例如，参见能源与环境研究所报告《核电骗局》第 9 章《风能与钷：日本风能潜力考察及沿海风能利用与钷利用对比》，和托马斯·约翰逊等人的《可再生能源：燃料和电能的来源》，华盛顿特区岛屿出版社 1993 年。

## 核电生产中的放射性废物

核电时常被当作一种产生极少污染的能源。然而，考虑到核电生产的所有阶段，从开采铀到处理乏燃料以及这两者间的所有事宜，核能产生了大量的和多种的废物和环境污染。政

府和工业界未能合理地管理、存储、隔离和控制整个核燃料循环产生的有毒和放射性物质，通常给人类健康和环境带来灾难性的后果。<sup>1</sup>

铀的开采、碾磨、处理和提炼给

健康和环境带来的损害一直很严重，并且仍在继续。在世界许多地方磨碾的残渣仍泄露到土壤里并污染地下水。商业性再处理继续向水中释放大量的放射性废物，而人们则从这些水中索取食物。这样的情况正发生在爱尔兰海和英吉利海峡，英国谢菲尔德和法国拉阿格处的再处理工正在分别向上述水域排放废物。

后面两页上的图表表明了核反应堆产生的放射性废物量的估计数字。<sup>2</sup>除了具有放射性外，这些废物中的许多还包含有毒的非放射性物质。例如，磨碾残渣中包含诸如砷和钼之类的有毒元素。该图表还表明一次低浓度铀燃料循环和一次混合氧化物燃料循环所产生的废物量。不同类型的放射性废物的定义见下表。

废物的产生和核电及相关操作所造成的污染具有相当大的不确定性和变化，这取决于诸多因素，例如铀矿的质量、处理设施和反应堆的类型、燃料消耗以及占主导的法规和执行的效率（参见第 20 页的猜谜游戏）。表中的估计数字是布莱恩·肖和格里戈利·琼斯（兰德公司 1999 年）作出的。他们对轻水反应堆使用的两种类型的核燃料所产生的放射性废物提

供了值得称赞的全面的分析。

一次低浓度铀（LEU-OT）燃料循环是最通用的方法。美国和世界绝大部分地区的所有的商用核反应堆都使用一次低浓度铀燃料循环。“低浓度铀”指的是使用的燃料的类型；“一次”指的是乏燃料不被处理用于回收钚和铀以供制造新的反应堆燃料。

一次混合氧化物（MOX-OT）燃料循环使用从低浓铀乏燃料中提取的钚制造的混合氧化物燃料。在这一循环中反应堆芯由 30%的混合氧化物燃料组成；其余的是低浓铀燃料。辐照之后，混合氧化物废料被处理，低浓铀废料被再处理。目前，德国、法国、比利时的约 30 座商用核电反应堆在使用混合氧化物燃料。

其它处理核乏燃料的技术正在被提出，例如，转化和快反应堆，它们在再处理中需要多个途径。对这些建议的分析，参见第一页主要文章。

<sup>1</sup> 详细分析参阅麦克贾尼、胡和严编辑的《核废物之地》，马萨诸塞剑桥：麻省理工大学出版社，1995 年。

<sup>2</sup> 除了再处理释放的液体废物以外，其向空气和水中释放的其它废物未包括在内。

在下表中，放射性废物被分作五个标准：

**乏燃料：**排放的放射性燃料。乏燃料和 HLW 含有比核燃料循环中的其它废物更强的放射性。

**HLW（高放射性废物）：**乏燃料再处理产生的废物。乏燃料和 HLW 含有比核燃料循环中的其它废物更强的放射性。

**ILW（中放射性废物）：**受到半生命期超过 20 年的释放阿尔法射线的超铀放射性核素污染的废物，并且在分析时每吨废物此类放射性核素的集中量超过 0.1 居里。（与美国能源部对超铀废物的定义一致，但 ILW 在国际上更常用。）

**尾料：**铀提取后剩下的矿物残留物。

**LLW（低放射性废物）：**上述以外的废物。

\* 上述分类是以美国和其它国家的现有法规为基础的。尽管我们在这使用它们以更简单地传达兰德公司研究报告的估计，但美国的废物划分是有根本缺陷的，因为其划分标准是基于废物的来源，而不是决定废物危险性和合适处理方式的物理和化学性质。详情参见本刊 1997 年 5 月第六卷，第一期。

## 每个反应堆每年产生的放射性废物量

一次性低浓度铀 (LEU-OT) 和一次性混合氧化物 (MOX-OT) 循环<sup>a</sup>

单位：立方米/千兆瓦-年 (m<sup>3</sup>/Gwe-yr)

步骤	一次性 LEU 循环				一次性 MOX 循环				
	SF <sup>b</sup>	ILW	LLW	尾料	SF <sup>b</sup>	HLW <sup>b</sup>	ILW	LLW	尾料
采矿和研磨	-	-	-	65,000	-	-	-	-	50,060
改变	-	-	32-112	-	-	-	-	25-86	-
提纯	-	-	3-40	-	-	-	-	3-35	-
燃料制造	-	-	3-9	-	-	-	13	7.4-12.5	-
再处理与玻璃化	不适用	不适用	不适用	不适用	-	2-4 <sup>c</sup>	17-39	8016-8037 <sup>d</sup>	-
反应堆运行	-	22-33	86-130	-	-	-	22-33	86-130	-
乏燃料储存与封装 <sup>e</sup>	-	2	0.2	-	-	-	0.3	0.03	-
乏燃料最终处置	26	-	-	-	26	-	-	-	-
退役 <sup>e</sup>	-	9	333	-	-	-	10.1	315	-
<b>总数</b>	<b>26</b>	<b>33-44</b>	<b>457-624</b>	<b>65,000</b>	<b>26</b>	<b>2-4</b>	<b>62-95</b>	<b>8452-8615</b>	<b>50,060</b>

注释：

- a. 除了与再处理有关的向水中排放的液体 LLW 外，废物量不包括向空气和水中的放射性物质排放。使用了现代轻水反应堆的典型特点：假设所有燃料具有每公吨重金属（如铀和钚）42.5 千兆瓦日（热）的燃烧量；反应堆具有 33% 的热效率；生产 1Gwe-yr 的电需要 26 公吨铀。
- b. 乏燃料和 HLW 的实际数量并不能充分代表处理它们的负担。例如，是乏燃料和 HLW 释放的热量而不是体积决定进行生态储存时所需的体积。需要掩埋乏燃料和 HLW（例如，因而使它们不产生可以腐蚀废物包装物或导致不需要的地质变化）意味着储存时的体积要比其实际体积大得多。

资料来源：所有废物数据来自布莱恩·G. 肖和格雷戈里·S. 琼斯：《使用及不使用钚分离管理废料》（圣莫尼卡，加利福尼亚：兰德公司，1999 年）。再处理 LLW 数据使用的资料也来自：Groupe Radioecologie Nord Cotentin, *Inventaire des rejets radioactifs des installations nucléaires*, 第一卷, 1999 年 7 月, 第 19 页, 及 Cogema: 《环境报告》, 1996 年, 第 54 页。评论部分来自：麦克贾尼、胡和严编, 《核荒地：核武器生产及其健康和环境效应全球指南》（坎布利奇, 麻省理工学院出版社, 1995 年）。



**每个反应堆每年产生的放射性废物量**  
**一次性低浓度铀 (LEU-OT) 和一次性混合氧化物 (MOX-OT) 循环<sup>a</sup>**  
单位：立方米/千兆瓦-年 ( $\text{m}^3/\text{Gwe-yr}$ )

**评论**

就辐射量和受影响的人数而言，铀矿开采是核燃料循环链中最危险的一个步骤，对当地人产生相当大的影响。采矿产生了大量的低品级不经济的含铀物质，这些物质未被当作放射性物质来处理。研磨产生的废物占放射性废物总量的 95% 以上，不包括采矿产生的废物。世界上的许多尾料地点仍旧未处理和/或被忽视不管，它们的放射性和非放射性有毒物质污染着地表和地下水。

铀的许多化学形式产生于六氟化铀在提纯工厂的制造过程中。除了飞机和船只中使用的铀以外，危险包括诸如氢氟酸、硝酸和氟气等化学物。

改变和提纯产生的低放射性废物典型的处理方式是埋在垃圾堆里。许多这样的“低放射性”废物垃圾堆已经把放射性核素沥滤到了地下水中。提纯产生的废物还包括非放射性有毒化学废物，例如聚氟联苯、氟气、氟、硝酸盐、铀和钍。

因为燃料制造不涉及液体废物的产生，其影响主要限于工人和再处理部门的工人。处理多次辐照燃料产生了日益严重的放射性危险，这是引起人们严重关注的一个原因。

再处理产生了核燃料循环中某些最困难的环境问题。再处理产生的废物和乏燃料比燃料循环中的其它废物都更具放射性。1957 年，苏联高放射性液体废物箱发生爆炸。苏联、美国和其它国家储存再处理产生的废物的箱子现在也存在爆炸的危险。这些箱子的泄露已污染了土壤和地下水。再处理产生的绝大多数放射性废物直接排放到水中。由于涉及从乏燃料中分离制造武器的物质（铀和钍），再处理产生了很大的核扩散问题。向空气中释放的还有氪 85 和碳 14，未包括在此处。

核反应堆易于发生灾难性事故。沸水反应堆释放了大量放射性惰性气体。

由于燃料外包装破裂，裂变产物漏到乏燃料库中，也产生了相当数量的“低放射性”废物。这些裂变产物包在树脂里放在过滤器中，成为美国的“低放射性”废物和欧洲的中放射性废物。

不能够在其危险期内把乏燃料的污染与人类环境隔离开，使乏燃料处理成为与核电有关的最难的难题之一。

反应堆释放废物的放射性，大多集中在少量强放射性物质中。大多数反应堆和相关的化学武器设施尚未退役。

- c. 该数字不代表再处理产生的最初的液体 HLW 总量，而是最初总量经蒸发、集中和玻璃化后的约 98%（原子能机构和经济合作与发展组织：《核燃料循环经济》（巴黎：经济合作与发展组织），第 33 页）。
- d. 该数字包括向环境释放的液体废物  $7956\text{m}^3/\text{Gwe-yr}$ 。
- e. 未假设乏燃料储存和胶囊化步骤包含在最终处理前先将乏燃料转到临时地点储存。

如果另需将乏燃料储存在水池中，需用千桶做临时储存的话，在临时储存中还要产生 6 立方米的 LLW/Gwe-yr 废物。

- f. 尽管混合氧化物和低浓铀燃料循环的乏燃料量是相等的，但混合氧化物乏燃料更难处理，因为它在物理上比低浓铀乏燃料更热。
- g. 这包括反应堆的退役，和改变、提纯、制造与再处理工厂。



# Dear Arjun

亲爱的阿琼：

我听说过有关核电的各种论调。应该怎样将其与矿物燃料和诸如风能和太阳能之类的可再生能源比较呢？

——怀俄明的万德瑞

亲爱的万德瑞：

有关核电站的论调包括以下几点：

1. 严重事故仅发生在前苏联，不会在美国发生。
2. 核电站没有排放。

### 矿物燃料与核电的比较

	使用增殖反应堆的核	一次使用铀的核	目前方法下的矿物燃料	有限的矿物燃料和可再生能源
当前经济条件下的资源基础*	未来不明确	50-100年，可能会更多	几百年	未来不明确
资源基础包括很低等级的资源	未要求	未来不明确	几千年	未要求
增大的气候变化危险	没有**	没有	潜在的灾难性影响	如果矿物燃料被大部分排除，则没有危险
灾难性事故的潜在后果	严重：对广大地区有长时间的影响	严重：对广大地区有长时间的影响	对大部分地区没有影响，但对当地的影响严重；影响是短期的	对大部分地区没有影响，但对当地的影响严重；影响是短期的
日常运营下对空气的污染	相对较低	相对较低	根据控制技术的不同，由严重到中等	根据控制技术的不同，由中等到低度
日常运营下对水的污染	在矿井和研磨厂具有潜在的严重性，但由于对铀的要求较低而影响有限；在废物处理地点具有潜在严重性	在矿井、研磨厂通常严重；在某些油田严重（包括非放射性和放射性污染物）；在废物处理厂具有潜在严重性	通常在煤矿严重；在某些油田严重（包括非放射性和放射性污染物，主要是许多油井附近的罐-226）	较轻
核武器问题的危险	有	有，但比增殖反应堆系统轻	没有	没有

\*本表中的判断是以目前的实践和目前掌握的商用或能商用的技术为基础的。对后果和污染的陈述指的是进一步使用的后果，而不是以目前积累的损害为基础的。

\*\*增殖反应堆所必须的广泛的再处理所产生的氙 85 对云的形成和天气变化的影响也被提出来。但是，低温冷处理可以消除废气中的氙 85。

本图表系重印能源与环境研究所《能源与安全》1996年第1期。

3. 核电站生产的电非常便宜，以至于不用计量器计量。
4. 可以建造固有安全的核电站。
5. 建立在核电站基础上的能源经济可以防止核扩散。
6. 核电可以很好地消除温室气体排放。

没有特别礼貌的方式可以形容前五个论调，用平实的英语来说，它们都是胡言乱语。要了解更科学的描述，参见第 10 页的社论、第 15-17 页的内容、前一页的图表和《核电骗局》一书，有大量的参考内容在里面。

值得详细讨论的一个论调是核电站是否是一种减少温室气体的好方法。从理论上讲，与燃煤电站相比，核电站只排放相对较少的二氧化碳。但是，减少温室气体排放仅是选择适用技术的的技术性问题。即使不考虑能源效率的提高，许多能源供应技术也能减少二氧化碳的排放：风能和太阳

能就是这方面的好例子。封存二氧化碳，也就是多种方式储存二氧化碳，使其不排放到大气中去，在技术上也可行。

一个基本的限制因素是经济上的：投入一定量的资金哪套技术可以减少温室气体的排放？从这一点来看，核电肯定不是减少温室气体排放的答案。另一个基本问题是：减少温室气体排放将会给我们的后代带来什么损害？关于这一点的核心问题是核电易于发生的灾难性事故，长生命周期核废物问题和与所有核电系统有关的核扩散危险（不同程度上）。尽管每一种能源都有某些影响，但如此严重和不可逆转的损害只要使用可再生能源并从一开始就合理关注生态问题而得以避免。

要了解有关核电和全球气候变化，参阅本刊 1998 年 3 月第 6 卷，第 3 期。

## 精 选 读 物

· 《核电的欺骗：从核电“便宜得不用计量器计量”到“固有安全的”反应堆的美国核神话》，阿琼·麦克贾尼和斯考特·斯莱斯卡合著，Apex 出版社 1999 年出版，266 页，15 美元。

该书用批判分析和历史证据驳斥所谓核电可以消除温室气体积累并减少美国对外国石油的依赖的论调。该书还揭露了随着全世界核电站产生的钚的增加而产生的核扩散危险。

· 《印度的核弹：对全球核扩散的影响》，乔治·佩科维奇著，伯克利加州大学出版社 1999 年出版，610 页。如订购，请打电话 1-800-UC-BOOKS 或访问 <http://www-ucpress.berkeley.edu/books/pages/8386.html>。

该书写出了印度核武器计划的明确的政治历史。还对巴基斯坦的核计划和美国的核不扩散政策提出了真知灼见。乔治·佩科维奇的分析被成为“及时、严肃和切中要害的”。

### 错误更正

能源与环境研究所和国际防止核战争物理学家所著《核时代的致命黄金》（麻省剑桥国际物理学家出版社 1992 年）一书，第 55 页图表 3.2 错误改为：

低放射性液体的容量应为  $2.2 \times 10^9$  加仑。低放射性固体量应为 213 立方米。低放射性液体的放射性应为：

氡             $4.0 \times 10^4$     铯            2.9    铯 137        5.1

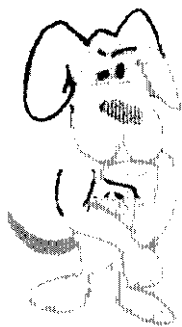
本刊 2000 年 2 月第 8 卷，第 2 期第 17 页应该表明意大利已签署并批准了《全面禁止核试验条约》。



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



## 解答问题 赢 108 美元



在。

光头博士的爱犬伽玛迷惑了。在进行本刊本期第 15-17 页的研究中，它发现对整个核燃料循环中产生的放射性废物，不同的信息来源有完全不同的估计。它想提醒 SDA 的负责人这个问题，并想寻求帮助以弄清为何这些分歧存在。

我们将提供 108 美元的奖金，奖励

的文献，参见网址 <http://osti.gov/resource.html> (登录后，找到 DOE Information Bridge, 然后寻找 integrated data base 并选择 Rev. 8(1992))，该文献已售完了。RAND 的研究报告可以通过联系@rand.org, 电话: 310-451-7002, 传真: 310-451-6915 来定购 (8 美元，包括邮费)。

这不是一个快速致富的计划。解决这个问题似乎比较困难并需要时间。(实际上，我们也没有找到答案。) 此次，我们提供了一个比以往更多的奖金并给参加者几个月的时间寻找答案。

**每个反应堆<sup>a</sup> 每年周期放射性废物产量 (m<sup>3</sup>/Gwe-yr)**  
(LLW=低放射性废物, ILW=中等放射性废物, GTCC=比 C 标准的 LLW<sup>b</sup> 高)

	DOE1992 <sup>c</sup>	RAND
采矿和研磨	尾料 119000	尾料 65000
改变	LLW10.5	LLW32-112
提纯	LLW3.7	LLW3-40
燃料制造	LLW82.7	LLW3-9
反应堆运行	LLW165.7	LLW86-130
		ILW22-33
退役	LLW290	LLW333
	GTCC0.15	ILW9
总数	119000	65000
	LLW552.6	LLW457-624
	GTCC0.15	ILW9

- a 压水反应堆作为参考
- b GTCC 是美国使用的标准，包括最具放射性的反应堆的部件和某些设备。第 9 页给出了 LLW 的定义
- c 这里的数字是对使用 1990DOE 数据的 IEER 报告《花大量美元做无意义之事》(Apex 出版社 1992 年出版) 第 24-32 页数字的更新。

最准确解释为什么那两种信息来源对放射性废物的估计会不同的人。两种信息来源即 DOE 和 RAND 的报道参见本文后面的注释。如果你想更深入地研究 DOE

答案将由光头博士和伽玛评判。答案必须在 2000 年 9 月 7 日前送达。我们将在此日期后不久公布答案。

祝你好运!

资料来源:

- DOE1992: 美国能源部: 《1992 年统一信息库: 美国乏燃料和放射性废物清单, 规划和特点》, DOE/RW-0006, Rev. 8, 1992 年 10 月, 第 279 页。

- RAND: 布莱恩·G·肖和格里戈利·S·琼斯: 《用和不用分离钷处理废物》, P-8035, 圣莫尼卡, 加利福尼亚: RAND, 1999 年, 第 37 页。

把你的答案通过传真 (1-301-270-3029)、电子邮件 (ieer@ieer.org) 或信件 (ieer, 6935 laurel Ave., Takoma Park, MD 20912 USA) 于 2000 年 9 月 7 日前发给我们，以邮戳为准。IEER 将准备一份 108 美元的奖金，奖励最准确解释为什么上表中提供的放射性废物的估计会不同的人。如果获奖者来自国外，他将受到《核废物之地: 核武器生产与其对健康和环境的影响的全球指南》(麻省出版社 1995 年) 和《核电的欺骗: 从核电“便宜得不用计量器计量”到“固有安全的”反应堆的美国核神话》(Apex 出版社 1999 年) 两本书各一本，以代替现金奖品。如果出现两个以上的人给出最准确答案，奖品将发给我们最先收到答案的人。

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

**快速反应堆**

- a、救火卡车的别称;
- b、医学术语, 称呼做膝盖条件反射测试取得好成绩的人;
- c、独立思维快的人;
- d、一种设计使用快中子维持核链反应的反应堆。快中子反应堆可以用来生产比其消耗更多的裂变材料。

**次临界反应堆**

- a、形容受批评的核反应堆;
- b、学生对轻易给好成绩的老师的称谓;
- c、不能生产足够电量的电站;
- d、一种用外部添加的中子补充内部产生的中子以维持链式反应的核反应堆。

**轻水反应堆**

- a、靠发光的水运行的反应堆;
- b、一个做好准备喝放了欣快物质的水的沮丧的人;
- c、减少体内水分从而帮助减肥的节食食物;
- d、世界上最普通类型的核反应堆。用轻水(普通水)作为减速剂和冷却剂。轻水反应堆有两种变型:

压水反应堆和沸水反应堆。

**裂变物质**

- a、工业术语, 对苏打汽水加碳酸的称谓;
- b、一种精细的纤维;
- c、“容易的资料”的拼写错误, “容易的资料”是一本帮助学生应考的书;
- d、一种含有当原子核受到低能(理想的情况是, 零能量)中子辐射可以分裂的原子的物质。铀-235和钚-239是典型的裂变材料。

**裂变产物**

- a、核心家庭破裂后的孩子;
- b、鱼饵和钓具店卖的东西;
- c、从核武器设施取得并在公开市场上买卖的旧设备(文件柜、机械、报废铁等);
- d、重元素裂变产生的任何同位素。裂变产物通常具有放射性。

答案: d、d、d、d、d

**本刊 2000 年 2 月 第 8 卷, 第 2 期 原子谜 答案**

1、 里根	5、 约 5000	9、 现场检查、卫星图象、地震波
2、 巴西、埃及、爱尔兰、墨西哥、新西兰、南非和瑞典	6、 20; 没有	检测、放射性核素检测、水下
3、 国际原子能机构	7、 36 亿	监听设施、次声设备等
4、 没有	8、 1600 万吨	10、 约 100
		11、 321

## 读者问卷

请告诉我们，我们做的怎样！为帮助本刊办得更好，请完成下列问卷并在 2000 年 7 月 31 日前寄给本刊。五分钟时间和您坦城的反馈将有助我们向您提供一份更好的刊物。

非常感谢！

——能源与环境研究所全体成员

您通常阅读本刊多少内容（选择一个答案）？

100%     75%     50%     25%     少于 25%     不阅读，别把我算做读者

本刊的哪几部分您发现有用并有趣（选择所有合适的）？

文章     “关键物质的科学”     “光头先生”     社论     “原子谜” 添字游戏  
 “亲爱的阿琼”     特约文章和社论     “原子谜” 数学游戏

本刊如何改进？您想加什么内容？您想删除什么内容？

---

---

您如何使用本刊提供的信息（选择所有合适的）？

在我的工作中（我工作的领域和地点是\_\_\_\_\_）  
 在我积极从事或志愿的工作中（我的志愿工作是\_\_\_\_\_）  
 一般的阅读材料  
 我把贵刊的信息传递给朋友、家庭和/或同事  
 我受到多份刊物并把它发给\_\_\_\_\_

您所在的学校或大学使用本刊或我们的其它材料吗？  是     不     不能用

如果答案为是的话，在哪个层次上使用？  大学     社区或一般学院     高中或初中  
您是  教师     学生

本刊的文章（每一行选一项）：

a、  太长                     太短                     长短正好  
b、  太技术性             技术性不够             技术性刚好  
c、  太刺激                     太平淡                     刚好供睡前阅读

本刊的哪一期您最喜欢，为什么（包括卷号、期号和论题）：\_\_\_\_\_

理由：\_\_\_\_\_

您认为本期最有趣或最有用的是：\_\_\_\_\_

您认为本期最无用或最无趣的是：\_\_\_\_\_

您访问过我们的网站<http://www.ieer.org>吗？ 是 否

如果访问过，频度如何？\_\_\_\_\_

如果您认为我们的网站有内容需要改变的话，是什么，为什么？\_\_\_\_\_

如果我们的出版物(书、报告和新闻公告)作成光盘，您会订购吗(选择一项)？

是的，只要它的价格与文字版本差不多

是的，但要其价格明显低于文字版本

不，我对光盘版本不感兴趣。

其它意见：\_\_\_\_\_

名字（可选择添写与否）：\_\_\_\_\_

请于2000年7月31日前通过传真(1-301-270-3029)或信件(IEER, 6935 Laurel Ave. Suite 204, Takoma Park, Maryland 20912, USA)送达我们。谢谢!