

E+S #16

能源与安全

能源与环境研究所出版 · 美国华盛顿 · 二〇〇一年第一期

钚终结游戏：停止再处理，着手固定化

阿琼·麦克贾尼

剩余军用钚问题在冷战结束后迅速浮现出来，并具有很高的曝光率，因为人们普遍担心那么钚（和战术核弹头）的黑市将因苏联崩溃而抬头。但是，一个同等重要的潜在扩散问题——分离商用钚问题——在过去的十年中已悄悄地发展起来，却没有受到相应的重视。

核工业界的希望是商用钚可以成为有价值的燃料。但是，真实世界的经济活动，正如政治活动使巨大军用钚库存是安全资产这种观念变得过时一样，破灭了这些希望。

既然从本质上说分离钚的所有同位素化合物，无论是商业还是军事来源，都可以用来制造核武器，钚就成为商业和军事核工业之间最重要的纽带之一。管理分离钚，无论其来源，因而成为良好的不扩散政策的关键。

关于军用钚的文章已经写了不少，其中相当数量的文章由能源与环境研究所、美国国家科学院以及其他机构撰写。2001年1月，能源与环境研究所就如何管理商用钚以及其置放可以和其他机构撰写。2001年1月，能源与环境研究所就如何管理商用钚以及其置放可以和其他机构撰写。2001年1月，能源与环境研究所就如何管理商用钚以及其置放可以和其他机构撰写。以下文章概述了这一工作。注释请参阅报告的完整稿。

世界上最大的增殖反应堆“超级凤凰”于1998年提前永久关闭。法国增殖堆项目由于技术问题和高昂的成本归于失败。

钚 239 通过在核反应堆中电离自然界中存在并存量相对丰富的铀 238 产生。它可以被用于军事目的，在此过程中，钚从在核反应堆中电离化了的燃料和目标棒中被萃取出来（集

合起来称为电离化反应堆燃料或乏燃料）。由于铀 238 大量存在于商业核反应堆燃料中，钚也在商业核反应堆中产生。由于该种反应堆的数量巨大（全世界超过 400 座），商业核电工业中产生

在本期内	
全球真相委员会	8
法国报告质疑再处理和混合氧化物的优点	11
美-俄钚置放协议	15

的钚的总量就远高于军用核武器计划中产生的。到 1999 年年底，商用电力反应堆中产生的所有钚合计超过 1,400 公吨，比较而言，军事计划中产生的钚约为 270-300 公吨。

钚还可以用于燃料反应堆。为了被用作核燃料，钚必须首先从电离化燃料棒的残余铀和裂变产物中分离出来。用来达成这种分离的化学和电化过程在“再处理”这一常用标题下进行。在军用钚中有约 250 公吨保留在政府库存中。其余的在核试验中消耗掉、散布在全世界、以及作为试验中没有使用的残渣留存在地下洞穴中，和作为废物储存或被抛弃。一部分分离商业钚已经被用作混合的氧化钚-氧化铀（混合氧化物）燃料，而其它的被储存起来。表 1 显示了世界上分离商用钚的当前库存。

商用钚存量正以每年约 10 公吨的速度增长，因为被用作混合氧化物燃料的钚的数量比分离钚的数量相比，相当低。军用钚存量正以每年约 1 公吨的速度增长，主要表现在俄罗斯和美国，它们都声称再处理这种钚是因为环境，而不是军事原因。以这一速度，商业分离钚的存量在接下去的几年里注定将超过军用钚储量。它的数量已经如此巨大，以至于代表了严重的扩散问题。美国政府一个关于钚处置的机构间工作小组已经明确宣称：

“事实上钚同位素——一个元素的不同形式在其核中具有不同数量的中子——的任何化合物都可以被用来制造核武器。然而，并非所有化合物（对于制造核武器）同等便利或有效。¹

《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环境。

能源与环境研究所成员:

所长: 阿琼·麦克费尼

全球对外协调员: 米歇尔·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·麦克费尼

行政助理: 贝特西·瑟洛-希尔兹

科学家成员: 斯里拉姆·戈帕尔

网络顾问: 杰森·格里姆

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工作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, New-Land Foundation, Rockefeller Financial Service, John Merck Fund, Ploughshares Fund, CS Fund, Town Creek Foundation, Beldon 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 2001 年 2 月出版

表 1：估计在存储国家中分离商业铀的存量，公吨

国家	分离铀	存储日期	评论
法国	~80	1999 年底	包括外国储存在法国的铀
英国	78.5	2000 年 3 月 31 日	包括外国储存在英国的铀
俄罗斯	30	2000 年	
日本	5.3	1999 年底	
美国	1.5	2000 年	
其它	11	1998 年底	德国、比利时、印度
总计	~206		到 2000 年底总数达到 210 余公吨

注释：包括以未经辐照的混合氧化物燃料形态存在的铀。

1 公吨武器级铀可以被用来制造约 200 枚核炸弹——或更多，如果使用先进的炸弹设计。制造一枚相似的炸弹需要多出 40% 的商业级铀。因此，存储中的商用铀足够制造至少 30,000 枚规模与毁灭长崎的那枚相似的核炸弹。

商用铀困境的背景

在第二次世界大战后的大多数阶段，铀不仅被视为核武器世界的权力通货，而且被视为“有魔力的”能源资源。这是因为一种被称为增殖堆的反应堆可以将铀 238 转化为更多的、超过运行这一反应堆事实上需要的铀 239。因此，尽管生产了电力，²在这一过程的结尾比其开始阶段具有更多的燃料（铀 239）。

50 年代的大希望，铀会提供这种“有魔力的”能源资源——它甚至会过于便宜以至于忽略不计，已经遇到了成堆的实践问题，它们在过去的 25 年间已经不断地在变糟：

1. 铀表明比预计的要远为充足，因此铀的价格迅速下跌（在 70 年代有上升的迹象）。目前它正处在或接

近历史的低点。

2. 钠冷却增殖堆是被选来创造铀经济的技术，人们对它已经投入了巨大的努力和资金，但事实表明它是非常难以掌握和产生经济效益的技术。尽管仅对于大型的已经完工的电厂在四十多年的建造中已经花费了超过 200 亿美元（1999 年美元），该技术仍然为技术问题和高成本所困扰。表 2（下一页）显示了全世界在主要钠冷却增殖反应堆上资金消耗的大致情况（按 1996 年美元），以及不同反应堆的当前状况。
3. 商业分离铀可以用来制造核武器，以至于铀经济的发展相对于铀燃料核能反应堆造成的情况而言，在相当程度上引起了扩散风险的提升。
4. 再处理被证明为高成本技术，因此提高了铀相对于铀的成本。
5. 再处理导致排出大量液态放射性废物，也制造出其它带来环境问题和引起安全和健康风险的放射性废物。

这些结构性因素伴以近期事件，

表 2：100 兆瓦热功率 (MWt) 以上钠冷却增殖反应堆的资金成本

反应堆, 国家	产量, MWt	运行时间 ^a	资金成本, 百万美元 (1996 年)
Fermi I, 美国	300	1966-72	403
BN350, 哈萨克斯坦	1,000	1972-	724
凤凰, 法国	360	1973-	395
Dounreay PFR, 英国	600	1974-94	395
Joyo, 日本	100	1977-	144
KNK-2, 德国	~100	1977-91	107
BN600, 俄罗斯	1,470	1980-	918
FFTF, 美国	400	1980-93	1,397
超级凤凰, 法国	2,900	1985-98	6,028
文殊, 日本	714	1994-95	5,134
SNR-300, Kalkar, 德国	762	未开放	2,272
总计	8,906		19,917 ^b

注释: a. 运行开始相应于达到临界状态。b. 该总数既没有包括在未完成和废弃的克林奇河增殖反应堆上花费的 16 亿美元 (以 1996 年美元计, 约为 30 亿美元), 也没有包括其它未完成反应堆的费用。

其中一项极其不利于继续商业再处理和使用混合氧化物燃料:

1. 在 1998 年末社民-绿党政府选举以后, 德国决定废除核电。这一废除计划, 如它目前显示的, 将相对缓慢, 大致相对于现有核电厂的周期。但是, 废除必须包括停止再处理德国的乏燃料。这样, 为法国 UP2 (用于再处理了乏燃料的设施) 以及英国称为 THORP 的再处理工厂 (属于政府所有的公司——英国核燃料公司, 也承诺为国外客户提供服务) 继续运行提供合理性就变得甚至更加困难。
2. 德国政府废除核电并由此也废除再处理的决定, 在法国和其它地方也引起回应, 在那些地方废除核电这一话题在政治上也不再象以前那样困难。法国对钚的补助作为令人愤怒的标志被特别指示出来。

(见第 11 页附文)

3. 英国上议院科学与技术委员会 1999 年得出结论, 英国大多数商用钚应被宣布为废物。这对于英国补助钚燃料的前景也是严重一击。
4. 1995 年日本“文殊”示范增殖反应堆的钠冷却剂起火事故——仅在其达到临界约一年半后——以及 1999 年 9 月东海村核电厂的临界事故 (它造成 2 名工人由于高度放射性辐射死亡, 许多人受伤) 已经增加了对日本使用混合氧化物燃料核电厂的反对。现在, 日本核电的总体前景比东海村事故前看上去可能出现的情况远为受到质疑。
5. 揭露出英国核燃料公司包括与运往日本的有些燃料的资料在内的有些混合氧化物燃料质量控制资

料被篡改,已经将英国混合氧化物燃料计划以及再处理置于混乱中。

6. 俄罗斯原子能部是最强烈支持钚经济的核能机构,已经并将继续受到资金的束缚,而不能依靠它自己追求野心勃勃的增殖反应堆计划。俄罗斯也缺乏商业规模的混合氧化物燃料制造工厂。
7. 最近唯一有利于使用混合氧化物燃料的因素来自军事部门。2000年9月1日的美-俄协议将填补俄罗斯钚燃料循环基础设施的唯一鸿沟,如果它全部得到西方的资助,并按照预想的加以推进的话(见下文)。这一协议的目标是,主要通过将其用作轻水反应堆的混合氧化物燃料将两国已经宣布多余的军用钚库存转化为非武器使用形式。俄罗斯也希望混合氧化物燃料加工厂能够为增殖反应堆制造混合氧化物燃料。然而,俄罗斯和美国尚未就谁为该项目承担包括万一发生事故在内的法律责任达成一致。该协议将该问题留待进一步讨论(见第15页的附文)。

历史和当前的趋势及时间的直接后果是,现在存在一个重大政策问题,那就是该如何处理正快速增加的巨大的和不经济的商业钚库存。这一问题鉴于这一情况,即钚库存及其设施由不仅仅因为影响英国核燃料公司的篡改资料、安全和环境丑闻而使公众信任和尊重程度正下降的机构运行,而更加恶化。这些因素已经使政府和与钚有关的公司糟糕的经济决策引起的潜在问题复杂化了。

毫不奇怪,钚工业继续要求政府补贴,对此它应该没有合理的理由。

巨大而且大到不合理的资金——全世界差不多1,000亿美元——已经在过去的五十年里被投入制造钚经济的尝试。其中许多钱用在大型增殖反应堆上,而这种反应堆中的大部分现已关闭。其余的大部分钱用在再处理以及在使用由此导致的非经济的钚作为反应堆燃料上。这些成本在表3中得以归纳。有关补贴还没有结论,没有合理的方法去解决在可预见将来仍然突出的许多问题。

根据任何理性的经济和安全标准,商业钚燃料和增殖工业都至少在十年前就应该彻底退出能源选择的舞台。然而,商业钚分离在几个国家里继续。增殖反应堆计划也在一些国家里保留下来。在现有的反应堆里使用钚作为燃料(以氧化钚和氧化铀的混合物形式或称为混合氧化物)在90年代增长得相当迅速,为钚经济带来了新的一套补贴。

这些补贴和不现实的计划得以继续,是因为那些热切希望和相信钚作为能源长远前景的人在政治和经济界有足够的分量来保持钚火焰燃烧不熄。事实上,他们已经能够大大提升分离的和在轻水堆中作为混合氧化物燃料的钚的数量,轻水反应堆是最普通的商用反应堆形式,但绝大多数并非设计来使用钚燃料的。仅在法国,使用混合氧化物燃料每年使商用钚工业界得到约10亿美元的补贴。(见第11页附文)

军用钚处置

钚燃料的前景也从冷战的结束中得到推动。美国和俄罗斯正建议将其大部分宣布为多余的武器用钚作

为燃料在商业反应堆中使用。这以不扩散的名义将给铀燃料工业提供重要的新补贴，并使两个国家的核机构得到它们需要的协议以继续再处理和增殖反应堆项目。尤其需要指出的是，俄罗斯原子能部有明确的方案，要为其增殖反应堆项目而使用西方不扩散资金建造的基础设施。

俄罗斯原子能部已明确表示，美-俄武器钚处置项目“必须被视作为将来封闭的核燃料循环开发技术的第一步……”这将包括“使用快堆（增殖堆的别名）中的铀-钚混合燃料。”³美国在武器钚的背景下已经同意俄罗斯的这一系统，尽管在美国这一系统在70年代也以扩散倾向而遭到否决。（见第15页有关美-俄协议附文）

将多余的军事武器级钚转化为燃料，并在商业核电反应堆中使用，不仅增加了扩散担心，而且使人们关注有关安全的问题。绝大多数商业反应堆按设计应使用铀而不是钚同位素提

供裂变材料的混合氧化物燃料。修改这些反应堆使其拥有更多控制因素也许是必须的。武器级钚还从来没有被用作反应堆中的商业燃料，尽管来自商业乏燃料中的钚现正被法国、德国、比利时和瑞士的商业核电反应堆使用。用来评估武器级钚制造的混合氧化物安全性的计算机程序是那些为反应堆级钚开发和试验的程序。仍不清楚将怎样解决武器级钚和反应堆级钚的不同钚构成而引起的安全担心，以及放置混合氧化物燃料的不同方式。

使用混合氧化物燃料反应堆发生事故的后果将比使用铀燃料的更为严重，因为混合氧化物燃料包含较大比重的钚和超铀放射性核素。俄罗斯的法规基础相当薄弱，导致了诸如安全关切将如何被提请注意和解决的问题。而且，也产生了新的扩散风险，因为新的混合氧化物燃料将通过高速公路运输，并储存在至今尚无军

表 3：全世界尝试将钚发展为燃料的大致净成本综述

成本种类	成本	评论
主要增殖反应堆	~200 亿	大于 100 兆瓦热功率；仅指已完成的反应堆
未完成的增殖反应堆，小型增殖反应堆，净运营成本	~100 亿	净运营成本是指反应堆运营超过电力销售获得的收益的费用
再处理和混合氧化物	~400 亿	用钚替代混合氧化物作为燃料获得的净价值，粗略估计
Rokkasho-mura 再处理厂建造	~200 亿	未完成厂，现在官方定于 2005 年完成
其它过往成本（研发、基础设施、过往退役，长期商业钚储存）	几十亿	包括关闭的再处理厂（例如，纽约的西屋），过往的再处理和增殖堆退役，增殖堆和再处理的研发
小结，迄今为止的成本	~1000 亿	
未来继续再处理和混合氧化物的净成本	~每年 20 亿	假设每吨重金属 1,000 美元，并在当前比率下再处理
陈年钚储存的储存成本	每年 1 亿	
未来退役和商业钚置放成本	总计为几千或几百亿	

事级安全措施的商业核电站。

固定化

即使商业和军事部分的所有钚分离都立即停止，管理分离商业钚和多余的军事（钚）存量仍将是巨大的问题。因此，停止商业再处理和建立一个计划以将分离商业钚和多余的军用钚既迅速又符合安全、健康和环境保护地变成非武器用形式都很急迫。

能源与环境研究所在过去的分析中已经表明，用几种方法之一的钚固定化是将分离钚变为非武器用形式较安全、快捷和便宜的方法。⁴这一固定化的主要目的应该是防止非核武器国或恐怖主义组织偷窃钚。固定化所有分离商业钚和所有剩余军用钚这一主意还没有取得进展，原因有二点：

- 一般认为，俄罗斯不会接受将钚用作燃料之外的任何其它替代措施。因此，多余军用钚的混合氧化物选择被视为对将俄罗斯的武器钚变为非武器用形式（在这一情况下是乏燃料）至关重要。
- 西方和日本的钚游说对其支持使用不扩散基金建造混合氧化物燃料基础设施已经坚信不疑。

确实，俄罗斯原子能部希望得到西方的资金来建造混合氧化物燃料基础设施，但是，这不意味着其它方案会被俄罗斯社会或政府的所有部门所拒绝。例如，不提议购买所有俄罗斯分离商业钚和所有多余的武器钚为在国际安全保障下在俄罗斯固定化和储存已曾经通过官方途径转达给俄政

府。如果根据其最大可能的理论价值估算，（这是说如果以零成本不可思议地转变为混合氧化物燃料），购买80公吨钚最多值20亿美元。⁵与固定化钚相比，它将付出可比数量的成本。现行核安全合作协议显示，俄罗斯愿意考虑这些项目，否则它不会采纳。然而，由于固定化西方将不会提议购买俄罗斯多余的钚已经通过官方渠道传递给俄罗斯政府。出于不扩散、安全和环境理由，这一方法，与全世界彻底停止再处理相结合，值得紧急考虑。

* 阿琼·麦克贾尼：“钚终结游戏：管理全球分离出的武器用商业和多余的核武器钚”，马里兰州，塔库玛公园：能源与环境研究所，2001年1月。网上地址：<http://www.ieer.org/reports/pu/index.html>。

¹ 美国能源部：“对武器用裂变材料储存和过剩钚处置选择方案的不扩散和军备控制评估”，能源部/NN-007，（华盛顿，特区：美国能源部，1997年1月），第37页。

² 这一过程在理论上当然受制于储量丰富的铀238的获取情况。

³ 引用来源：“俄罗斯21世纪上半期发展核电工程战略：主要内容”，（莫斯科：俄罗斯联邦原子能工程部，2000年），第17-18页。

⁴ 能源与环境研究所有关武器钚处置的技术分析和评论可在先获取，地址是：<http://www.ieer.org/latest/pu-disp.html>。

⁵ 钚作为燃料（不管是商业还是军事资源）的实际经济价值呈负值，因为它比铀燃料昂贵。

核武器生产产生健康和环境损害的全球真相委员会

阿琼·麦克贾尼

过去二十年间的广泛研究表明，核武器国家首先在没有知晓同意的情况下以国家安全的名义危害了它们自己的人民。¹冷战期间核武器国家雇佣它们自己的人民，生产核武器的工人以处于这一侧面的前沿。但是，对健康和环境这种缓慢损害的展开方式仍在很大程度上不为人知，缺乏理解。在过去的二十年里，有关这一损害的实质性观点仅在一个核武器国家——美国的否定和宣传潮中开始出现。

到目前为止，公开的美国记录根本没有消除疑虑。它表征出，有预谋地强调生产而不是健康保护，大规模和日常性地破坏健康和安全规则，故意误导工人以至于在两者都明确做过承诺时不提醒关注或支付危险工作津贴，以及破坏民主程序。

草率、不合格的科学是这幅阴郁图景中通常的组成部分。能源部已经承认，在1989年前对计算工人因吸入或食入放射性物质而受到的内部辐射没有做出过努力。²能源与环境研究所根据俄亥俄州辛辛那提市附近为钚生产反应堆加工铀的弗尔纳德厂的资料进行的工作表明，在50年代和60年

代早期，大多数工人事实上吸入铀而受到过度辐射。³许多人很可能由于铀作为重金属的毒性也受到严重的肾损害。然而，他们得到保证，他们没有受到危害。

由于这些信息已经公开，要求纠正不公正以及公开揭露、健康关心和赔偿的呼声已经上升。美国最近通过法律，给予大多数受到辐射的工人在他们患上某些疾病的情况下申请补偿

要求纠正不公正以及公开揭露、健康关心和赔偿的呼声已经上升。

和医药治疗的权利。还没有其它政府象美国那样广泛地承认受到辐射的潜在危害，尽管有些地方为有限数量的人口采取了一些有节制的项目。

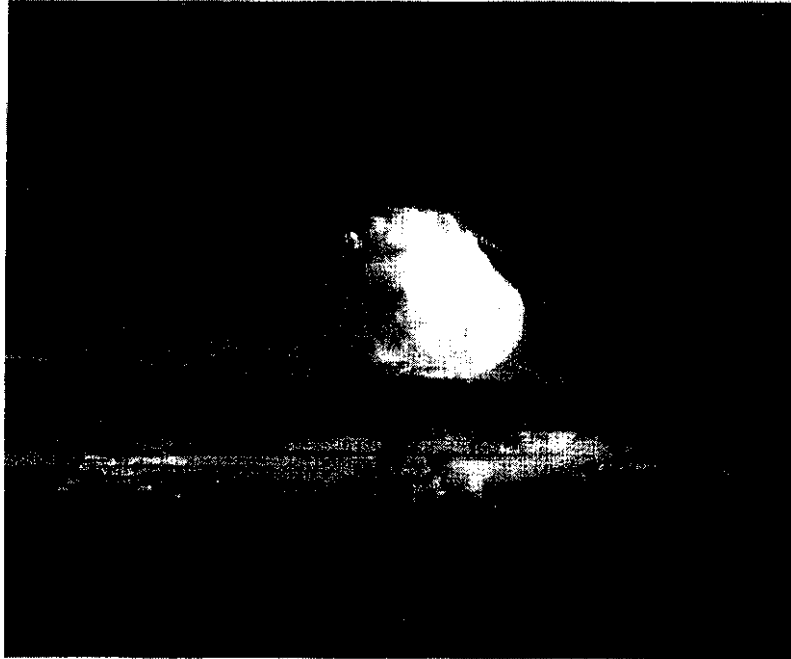
大多数地方工人受到辐射剂量及工作条件（在适当尊重工人们隐私权的情况下）的原始资料仍然保密。显然俄罗斯自80年代中期以来较为开放，有关工人受到辐射的一些资料也正在出现，但是在实践中俄罗斯独立的研究人员仍没能得到原始资料。在其它相对开放的国家里——法国、印度和英国，机密也占支配地位。中国、巴基斯坦和以色列的情况更为糟糕。

以国家安全名义将它们本国人民健康和环境被滥用保持机密这一方式从根本上说是反民主的。它假设，人民不会为它们国家的安全而做出牺牲。它假设，最高核机构在人民未被

告知同意的情况下，可以无视确立的法律、规范和规则，做出生或死的决定。

这一危害已大大超越了工厂的范围，延伸到工人的家属、工厂的邻居以及一般公众身上。例如，美国国家癌症研究所的官方研究表明，在50年代，美国牛奶工业中的大部分由于内华达试验场核武器大气试验的尘埃而受到碘131的污染。⁴没有其
其他核武器国家在对它们本国人民说明情况

方面采取了相似的努力。而且，核武器国家大气试验对牛奶供应的污染大大超越其边界。有意思的是，要注意到国家癌症研究所公布的牛奶被污染地图和剂量估计终止在加拿大和墨西哥边境。非核武器国家的铀矿工人已经受到核武器国家的伤害。试验场污染了前殖民地，比如阿尔及利亚和波利尼西亚。然而，没有适当的情况说明即将出现。但在另一方面，当核武器国家不能对其本国人民说明情况时，它们为什么会向其边境以外的人民说明情况呢？



代号为“艾维·麦克”的世界上第一次试验热核装置于1952年10月31日在因纽塔克岛起爆。艾维·麦克是美国在马歇尔岛进行的67次核试验中的一次。（更多信息请访问马歇尔岛共和国网址：<http://www.rmiembassyus.org/geninfo.html#NUKE>）。

在核武器生产和试验过程中对工人和其他公众造成的故意危害对国家安全政策怎样形成的提出了令人烦恼的问题。

在核武器生产和试验过程中对工人和其他公众造成的故意危害对国家安全政策怎样形成的提出了令人烦恼的问题。如果核武器机构可以卷入在不告知人民的情况下精心策划地危害正是其声称要保护的人民，那么说可以保证安全政策本身不是在很大程度上受到官僚机构自我保护而并非其它社团安全和健康利益的推动？这决不是措辞或理论问题。存在强有力的事实，例如轰炸广岛和长崎的决定部分是受到使曼哈顿计划期间核炸弹巨大支出具有合法性的推动。核机构担心，如果核炸弹不能被视为对战争努力非常有用，战后对浪费资金将会进行没

完没了的调查。⁵这些调查无疑也将使战后继续得到巨大核武器预算的前景变得暗淡。

每一个核武器国家都需要大范围地公开揭示它们对其本国人民造成的健康和环境危害。有关这些国家边境外的危害需要进行全球辩论。这些危害中有许多是故意造成的。例如，加利福尼亚1960年工程学校友杂志的社论就指出，“核试验到目前为止已经在[全世界]增加了6,000名婴儿生来具有重大的先天疾病。”然而，它补充道，“你必须将这一认知的风险与经论证的美国对核武库的需要结合起来加以衡量。”⁶该社论没有结实为何尼日利亚或哥斯达黎加或印度尼西亚的儿童应该患有重大先天疾病以至于美国可以拥有核武库。

每一个核武器国家都需要大范围地公开揭示它们对其本国人民造成的健康和环境危害。

现在是联合国大会就全世界由于核武器生产和试验遭受破坏性后果建立独立和公开的真相委员会的时候了。该委员会不仅应该研究该危害的性质和范围，以及它是否和怎样在精心策划下造成的；它还应该对全世界人民使核武器机构负起责任的方法提出建议。它也应该研究要求拥有核武器的安全观点是否并且在何种程度上

造成了愚民和公众的担心，以至于核武器官僚机构可以维护自身的存在。考虑到核武器机构仍然拒绝在《核不扩散条约》下履行它们的核裁军承诺，以及人们仍然由于核武器机构施加于其的危害而身患疾病和濒临死亡，这一研究在今天有一定程度的现实意义。

¹ 阿琼·麦克贾尼，哈瓦德·胡，以及凯瑟琳·严编：《核荒地：核武器生产及其健康和环境效应的全球指南》，（麻萨诸塞州，坎布里奇：麻省理工学院出版社，1995年）。

² 见：阿琼·麦克贾尼和伯纳德·弗兰科：“工人受辐射剂量记录有严重缺陷”，《科学为民主的行动》，第6卷第2期，1997年11月。（在线地址：http://www.ieer.org/sdfiles/vol_6/6-2/workers.html。）

³ 见：《科学为民主的行动》，第5卷第3期，1996年10月。（在线地址：http://www.ieer.org/sdfiles/vol_5/v5n3-1.html）。

⁴ 帕特·梅特奥耶：“让他们喝牛奶”，《科学为民主的行动》，第6卷第2期，1997年11月。（在线地址：http://www.ieer.org/sdfiles/vol_6/6-2/iodine.html。）

⁵ 莱斯利·格罗弗斯：《现在可以公告天下了：曼哈顿计划的故事》（纽约：Harper and Row，1962年），第26章。戴维·罗伯森：《狡诈与才干：詹姆斯·F.拜恩斯的政治画像》（纽约：诺顿，1994年），第15章。也见：阿琼·麦克贾尼：“日本：一直是目标？”《原子科学家公报》，1995年5-6月。

⁶ 《加利福尼亚工程师》1960年4月社论，重印于1990年《加利福尼亚工程师》。

法国报告质疑再处理和混合氧化物的优点

安妮·麦克贾尼

核支持者喜欢将法国说成核能成功的例子。核电厂生产法国电力的75-80%，而这经常被列举为假设核能在法国公众中被广泛接受的象征。¹然而，自从80年代后期以来，当法国政府首次尝试启动地方投资用于可能的存放地点时，公众最大担心之一就是核废物的管理。这一担忧反过来激化了有关废除核能的争论。在这一背景下，有关停止再处理的较为狭窄但关键的争论已首次得到官方考虑。

2000年7月题为“核电部分经济前景”的报告由法国总理利昂内尔·若斯潘授权，它向政府²提出了关于包括再处理和混合氧化物（混合的氧化[钚和铀]）燃料在内的核能的经济分析。³该报告以其主要作者让-米歇尔·沙尔潘之名被称作沙尔潘报告。让-米歇尔·沙尔潘是计划委员会⁴的主席。其他两名作者是国家研究科学中心⁵生态发展项目主管本杰明·德叙，和原子能委员会勒内·佩拉。

考虑到作者们代表了包括法国核机构在内的不同力量，该报告必须被视为某种官方在技术上取得一致的文件。在该报告的介绍中，作者们声称：

“我们没有试图界定最希望看到的结果，更没有探讨怎样达到那个目标。因此，本研究没有提出任何建议。[...]我们的目标不是指导权威机构的选择，抑或甚至影响公众观念。它将允许在不同信息和明确的技术、经济和环境推理上出现必

要的民主争论。”

虽然该报告没有提出任何建议，它的两个有关再处理的主要结论十分清楚。而且，它们所依据的是核工业本身提供的资料。第一，再处理和混合氧化物燃料是非经济的，而且这种情况在可预见的将来也不会改变。第二，再处理和混合氧化物燃料对于降低包括钚在内的超铀放射性核素废物的储存没有什么帮助。

该报告被构建起来以表明，电力生产可能出现的不同模式的比较性经济分析。它也评估了这些选择，特别是二氧化碳释放，对环境的影响。接下去是该报告第一章的总结，“关于法国：过去的遗产”，其中得出了有关再处理的两个结论。为了将该报告置于情景中，我们首先快速浏览一下法国的电力部分和混合氧化物的使用情况。

法国的电力生产

表 1：法国再处理铀的种类和数量

乏燃料种类	每年下载 公吨	再处理数量 公吨
二氧化铀	+1100	850
混合氧化物	-100	0
总计	1,200	850

资料来源：Commission Nationale d'Evaluation Relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, Institut de l'énergie par la loi 91-1381 du 30 décembre 1991, Rapport d'Evaluation N° 4, October 1998.

法国 1997 年的电力生产总量是 481 万亿瓦-每小时⁶，其中 376 万亿瓦-每小时（78%）来自核电部分。民用核电部分由 58 个压水堆组成。其中，目前有 20 个使用混合氧化物燃料，8 个可以被改装为使用混合氧化物但目前没有使用它，剩下的 30 个反应堆使用二氧化铀燃料，并且不能被改装来使用混合氧化物。

装载混合氧化物的反应堆使用 30% 为混合氧化物的核芯，其余的燃料是低浓铀。这 20 个反应堆装载的混合氧化物占用了法国乏燃料中分离出的钚的几乎全部。表 1 显示了法国反应堆中未装载的乏燃料的总数，以及再处理乏燃料的数量。如果混合氧化物装载到能够使用它的所有 28 个反应堆中，法国每年产生的大约 1,100 公吨的二氧化铀乏燃料的全部可能需要再处理。然而，法国储存起来未使用的分离钚有相当数量，因为大规模使用混合氧化物是比商业再处理远为新近的观点。

方案

该报告通过构建七个方案进行分析。其中六个方案假定未来不同水平的再处理和使用混合氧化物。它们基本上分成以三个方案为一组的两类，其分别仅在于对反应堆生命周期的假设（41 年对 45 年）。称为 S7 的第 7 个方案是个假想，它在假设再处理从未启动的情况下估算法国电力价格。

由于所假设的平均生命周期的区别非常小，我们在此仅将讨论集中在第二类，S4-S6 方案，它们假设反应堆的生命周期为 45 年。这一假设也存在于不进行再处理的方案中，因此允许将不同水平再处理的成本与不进行再处理进行比较。

S4-S6 方案包含以下假设：

- S4 方案假设，再处理会在 2010 年停止。
- S5 方案对应于法国当前的形势，乏燃料中的 70% 进行再处理，分离出的钚加工成混合氧化物，在 20 座反应堆中燃烧。

表 2：法国不同再处理方案的电力成本与产量

方案	S4 (于 2010 年停止再处理)	S5 (再处理 70%)	S6 (全部再处理)	S7 (不进行再处理)
累积成本 (十亿法郎)	2,888	2,910	2,927	2,762
累积电力总产量 (十亿千瓦-小时)	20,238	20,238	20,238	20,238
电力平均成本 (立方米/千瓦-小时)	14.27	14.38	14.46	13.65

注释：美元-法郎的汇率波动，大致的转换情况可以通过假设 1 美元约等于 1 欧元计算。欧元与法郎具有固定关系，1 欧元=6.55 法郎，1 生丁=0.15 美分。

► S6 方案对应于这种情况，即所有新产生的乏燃料（但不是过去存储的未再处理的乏燃料）进行再处理，分离出的铀加工成混合氧化物，并在 28 座反应堆中燃烧。

注意，没有方案假设提早停止再处理。该报告强调，在放弃再处理之

全部再处理与不进行再处理之间累积起来的代价差异达 1650 亿法郎（假设 6.55 法郎=1 美元，约 250 亿美元）的区别。然而，混合氧化物仅在一些反应堆，以及仅在这些反应堆生命周期中的一部分时间里使用。因此，每个反应堆每年使用混合氧化物燃料而全

表 3：法国不同再处理方案产生的未再处理乏燃料（二氧化铀和混合氧化物）中含有的铀和钚的数量

方案	S4（于 2010 年终止再处理）	S5（再处理 70%）	S6（全部再处理）	S7（不进行再处理）
铀和钚的最终存量（公吨）	602	555	514	667

注释：钚在上列数量中仅占很小的百分比。

前，作者们设计了一个在 2001 年暂停再处理的方案，这一日期为法国电力部门用于重新审议再处理合同。不考虑提前停止再处理的理由是，突然停止将带来许多技术（放射性燃料存放）、社会和法律问题。环境部长多米尼克·瓦内在该问题上的倚重之士罗兰·拉加德最近已经提出了在 2002 年结束再处理的可能性。

经济分析

表 2 总结了 S4-S7 方案的成本，这些方案都假设每个反应堆具有相同的生命周期 45 年。显示的成本包括延迟的额退役成本。（立即退役更加昂贵。）所有成本的数字相当于 1999 年法国法郎。

从这些结果中可以得出几个结论。很清楚，没有再处理，法国在经济上的处境要好得多。核机构希望的

部再处理与不进行再处理方法的代价区别是约 5 千万美元（包括有关的再处理费用）。

2010 年停止再处理将累积节省约 400 亿法郎（60 亿美元），而把来自每年产生的二氧化铀乏燃料的铀的重新使用率从 70% 提高到 100%，将增加 170 亿法郎（26 亿美元）的费用。不幸的是，没有给出 2001 年或 2002 年停止再处理的数字。但是，将给出的数字外推表明，其节省将相当高。

材料平衡分析

表 3 显示了在假设为 45 年的反应堆运行生命周期结束时预计以公吨为单位的铀和钚的存储量。

因此，与不进行再处理相比，最大限度再处理仅降低了 153 公吨或约 23%（S6 与 S7 比较）铀的储量。在 2010 年废除再处理与全面进行再处理之间

在钚储量上的区别甚至更小（15%）。再处理仅对钚存量有很小影响的理由是：

- 乏混合氧化物燃料仍然包含大量剩余钚。
- 在它还没有或很少有使用混合氧化物的反应堆时⁷，法国在很长一段时间里已经有分离钚储备。法国没有使用这些储备的反应堆能力。而且，陈年的钚含有镅 241，它由钚 241 衰变释放出强烈的伽玛射线。镅 241 的存在对工人具有危害，而且在加工成混合氧化物之前必须从钚中清除掉。
- 法国在增殖堆中使用大量钚的计划由于增殖反应堆项目严重的技术问题和非常高昂的费用而土崩瓦解。法国已经比原定计划早很多年地永久性关闭了该项目的明星、目前为止世界上最大的增殖反应堆——凤凰堆。
- 有些钚存在于法国不准备再处理的乏燃料中，因为不实施嬗变计划⁸，法国无法使用这些钚。

能源与环境研究所的结论

沙尔潘报告第一次向公众提供了对法国再处理和论和氧化物使用官方资料的详尽分析。它的结论清楚地指明了早日结束再处理的途径，因为它在能源和废物管理部分没有提到严重的问题。迅速废除再处理并因此停止使用混合氧化物燃料看上去符合法国电力的经济利益，它象其它地方的公用事业一样正面临私营化和竞争的时代。将会反对这一政策的公司是康吉玛，这一主要由政府所有的公司运营

着法国所有再处理和混合氧化物燃料加工工厂。

¹ 见：例如，前沿的纪录片，“核反应”，公共广播公司于1997年4月15日播映。

² 目前的法国政府是包括社会党和绿党在内的五个左翼政党的联合。环境部由绿党成员多米尼克·瓦内领导。

³ 让-米歇尔·沙尔潘，本杰明·德叙和勒内·佩拉，Etude économique prospective de la filière électricité nucléaire, La Documentation Française, 2000年7月。该报告在望上可以找到法文版，<http://www.plan.gouv.fr>。

⁴ 计划委员会给总理的报告。它的使命是通过进行专家研究帮助指导在经济和社会问题上的公共选择。

⁵ 国家研究科学中心为政府所属，在法国不同地区拥有分支机构。它在许多领域从事研究，包括物理和生物科学，健康，以及经济和社会科学。

⁶ 1 万亿瓦等于 1 京兆瓦（ 10^{12} 或 1,000,000,000,000 瓦）。

⁷ 到1996年底，该储备约为35吨。如果将外国钚计算在内，该数字上升为约65吨。

⁸ 能源与环境研究所将嬗变作为废物管理的一种方法进行分析——包括环境、废物管理、费用，和扩散担心——总结在《科学为民主的行动》第8卷第3期（2000年5月），网上地址：<http://www.ieer.org/sdfiles/vol-8/8-3/transm.html>。

美-俄钚处置协议

米歇尔·博伊德

2000年9月1日，美国前副总统阿尔·戈尔和俄罗斯总理米哈伊·卡斯亚诺夫签署了美-俄钚处置协议。¹ 该协议要求或通过反应堆中作为燃料燃烧（混合氧化物燃料）或通过把它与高度放射性废物一起固定在玻璃中，将68公吨武器级钚，每一方为34公吨，转化为非武器用形式。

美国已经决定将25.57公吨钚用做混合氧化物燃料，并固定化其余部分（8.43公吨），而俄罗斯将使用其所有34公吨钚来制造混合氧化物燃料。多余的武器钚库存的一些特点在旁边的表格中得以综合。

按照该协议，固定化了的钚不再能加以分离，但是一个国家在其所有34公吨钚处置之后仍可以再处理其乏混合氧化物燃料。俄罗斯原子能部已明确宣布，它倾向于再处理混合氧化物燃料来作为发展“封闭式”核燃料循环（见第1页主文）第一步的组成部分。考虑到该协议中混合氧化物项目的时间框架，俄罗斯将被允许在2025年前，也许更早些时候，重新从乏混合氧化物燃料中提取剩余钚。虽然绝大部分已经宣布的剩余钚被规定用于美国和俄罗斯的轻水反应堆，但是俄罗斯也倾向于将其部分混合氧化物燃料用于增殖堆。²用于快堆的混合氧化物比用于轻水反应堆的含有高得多比重的钚。

该协议中两个关键问题——俄罗

置放的数量与方法

就美利坚合众国而言		
数量（公吨）	形式	置放方法
25.00	弹头与纯金属	作为混合氧化物辐照
0.57	氧化	作为混合氧化物辐照
2.70	不纯金属	固定
8.73	氧化	固定
就俄罗斯联邦而言		
数量（公吨）	形式	置放方法
25.00	弹头与纯金属	作为混合氧化物辐照
9.00	氧化物	作为混合氧化物辐照
形式		
弹头与纯金属：处于或来自武器组件或武器部件的钚，以及准备加工进武器部件中的钚。弹头中的钚可能含有杂质，特别是铀。		
不纯金属：以均质金属形式用一种或多种其它元素加以铸造的钚，和作为非纯金属的未经铸造的钚金属。		
氧化物：以二氧化钚形态存在的钚。		
资料来源：《美利坚合众国政府与俄罗斯联邦政府关于管理和处置俄罗斯不再用于军事目的的钚及相关合作的协议》，有关数量、形式、地点和置放方法的附录，第1和11部分。（2000年9月1日）		

斯项目的财政资助和可靠性，已被留待将来讨论，而在它们解决以后，俄罗斯才可以推进混合氧化物项目。而且，该协议规定，在一年以内，应该就将处置率翻倍达成协议，虽然到目前为止怎样做到这一点还不完全清楚。这三个问题将在下文中更详细地讨论。

财政资助

俄罗斯混合氧化物项目的财政资助计划还留待将来讨论，其目标是在

美-俄钚处置协议摘要

“在成员国履行本协议第二条第一段确定的义务[处置了不少于三十四(34)公吨的置存钚]前,任何成员不得将乏燃料中含有的钚分离出来。”

——第六条第二段

“任何成员不得分离固定形式中含有的置存钚”

——第六条第三段

“美利坚合众国政府提供[给俄罗斯联邦]的帮助应该被用于这些活动,诸如:设施的研究、设计、开发、发放许可证、建造和/或改进(包括改进核反应堆),以及这些活动的技术加工、系统和相关的基础建设。”

——第九条第一段

“抱有在本协议生效一(1)年里达成一项多边协议来规范[每年两公吨处置率]所需的帮助承诺的目标,成员国应该进行合作。”

——第九条第六段

“在俄罗斯联邦政府中止任何执行活动的情况下,美利坚合众国政府将有权相应地

中止其对本协议下的执行活动。”

——第九条第十四段

“在本协议终止后,任何一方不得再处理任何乏钚燃料,除非该再处理受到成员方同意的限制。”

——第十三条第七段

“成员方将就适用于根据该条约采取的活动可能产生的所有申拆的责任条款继续进行磋商,并将寻求在最早的可实践的日期和不迟于多边协议生效的任何情况下达成协议。”

——有关帮助的附录
第二部分第一段

“在本部分第一段所指的含有责任条款的协议生效前:a)该协议的援助活动应限制在适当的建造前设计工作,b)任何一方在本协议下都没有义务去建造、改进、或运行处置设施,包括反应堆在内,以及c)俄罗斯联邦不应该以任何方法利用本协议规定的建造前设计工作,包括建造、改进、或运营处置设施(包括反应堆在内)。”

——有关援助的附录
第二部分第二段

资料来源:《美利坚合众国政府与俄罗斯联邦政府关于管理和处置确定为不再用于防务目的的钚及相关合作的协议》,2000年9月1日。

2001年9月1日前达成一项多边协议。如果这一协议到第二年的三月份尚未能完成,美国和俄罗斯可以或者同意调节其项目的进程,或者彻底终止该项目。

目前估计俄罗斯混合氧化物项目的成本在17-25亿美元之间,而美国的项目估计约为40亿美元。³美国已经落实了实施俄罗斯项目的2亿美元,并承诺了另外的2亿美元,但后者尚未得到国会拨款。去年7月,美国和俄罗斯与来自G8国家(英国、加拿大、法国、德国、意大利和日本)

的其他领导人在日本冲绳讨论了多边资助俄罗斯混合氧化物项目。英国已经承诺1亿美元,法国正贡献6千万美元,加上美国的贡献,合计已达到俄罗斯混合氧化物设施开始设计所需的9亿美元中的5.6亿美元。⁴

G8集团同意在第二年7月它们再次聚会意大利热那亚之前就俄罗斯项目制定出一项国际资助计划。G8集团不扩散专家组已经建立了一个特殊任务队以制定一项财政资助一揽子计划和多边计划框架,其中包括诸如如何构建计划管理以及实施捐助国监督权

利等问题。欧洲重建与发展银行已经接近完成它们是否将管理俄罗斯混合氧化物项目实施这一课题。⁵

法律责任

美国和俄罗斯尚未就谁应当对有关混合氧化物项目的任何申诉承担财政责任达成一致。在美国，普莱斯-安德森法案在发生事故的情况下为核电厂厂主提供上至 100 亿美元的资金。⁶

对于俄罗斯方面，这一水平的财政补偿虽然不够对付一场大规模的核事故，但考虑到俄罗斯的经济情况却是不可能的。而且，对于俄罗斯混合氧化物项目，也许较少有法规监管。最近提交给杜马的一项法案如果得以通过，将把给有关民事核活动发放许可证的权力从联邦法规机构 Gosatomnadzor (GAN) 转移给俄罗斯原子能部。

尽管俄罗斯原子能部更愿意在仍需好多年时间建造的“新一代”快堆中使用混合氧化物，但是它已经同意美国的在现有轻水反应堆中使用混合氧化物的计划。鉴于美国资助这一计划，至少是部分资助，俄罗斯使用混合氧化物燃料的轻水反应堆发生事故可能杂爱美-俄谁承担责任方面引起严重的政治危机，即便双方达成一项协议也是如此。

该交易规定，美、俄应该在 2001 年 9 月 1 日完成的多边财政资助协议生效时就责任问题达成协议。同时，对于俄罗斯的帮助限制在建造前的设计工作，直到责任问题解决后俄罗斯

才被允许用来建造或运行混合氧化物工厂。

处置率

该协议将 2007 年 12 月 31 日设定为开始运营钚处置设施的目标日期，该钚处置设施的最低处置目标是每个国家每年 2 公吨。俄罗斯提出一个“西方选择”，其要义是将俄罗斯制造的混合氧化物用于西欧国家的反应堆。然而，为西方反应堆制造混合氧化物燃料的法国再处理公司康吉玛已经反对这一计划，因为俄罗斯制造的混合氧化物可以用补贴价格销售。迄今为止，俄罗斯已经同意在向其他国家出售任何混合氧化物之前在它本国的反应堆中使用混合氧化物燃料。⁷

正如美-俄处置高浓铀⁸协议展示的，处置项目的商业部分可能减慢处置率。根据总会计办公室最近的报告，俄制低浓铀运送到美国已经拖延，因为俄罗斯不满意协议规定它所能得到的补偿水平。而且，执行商业合同的美国私营公司 USEC, Inc. 在 1999 年作为行政代理也考虑退出，因为低浓铀市场价格的下降减少了它们的赢利。⁹

该钚协议还规定，美国和俄罗斯在 2001 年 9 月 1 日前制定一项详细的行动计划来至少将处置率翻倍。提高这一比率的几种选择罗列如下，它们包括：

- **出口混合氧化物燃料在其它国家使用：**俄罗斯原子能部对这一选择特别感兴趣。瑞典和加拿大已经表示了对在其反应堆中使用俄

罗斯混合氧化物的兴趣。俄罗斯和美国都将混合氧化物项目送到加拿大在砍杜反应堆中进行试验，但是美国已经决定不将出口其混合氧化物燃料作为其处置项目的组成部分。

- **增加俄罗斯国内使用混合氧化物的反应堆的数量：**该选择目前看上去不可能，因为俄罗斯可以使用混合氧化物的反应堆的数量是有限的，俄罗斯没有经费去完成已经建造了几年的若干个反应堆。美国根据该协议提供的帮助不包括资助完成这些反应堆或建造新的反应堆。然而，该协议确实允许美国提供帮助来改装俄罗斯现有的反应堆以使用混合氧化物。
- **使用超过 1/3 混合氧化物的核芯：**新反应堆可以设计为使用 100% 混合氧化物的核芯，但是俄罗斯所有现存反应堆因任何使用混合氧化物将需要改进。即使在轻水反应堆中使用部分为混合氧化物的核芯也将使反应堆的运行和控制变得更加复杂。
- **使用“先进的核反应堆”：**俄罗斯原子能部已经宣称它想要建造“新一代”的增殖反应堆。通过原子、法国原子能部、美国能源部以及富士电机正研究气体涡轮模板氦反应堆，具有在 2010 年以后使用混合氧化物燃料的潜力。¹⁰

标的钚及相关合作的协议》。它可以在因特网上找到，网址是：

[http://twilight.saic.com/md/bilatagreement1.htm\(pudisagree.pdf\)](http://twilight.saic.com/md/bilatagreement1.htm(pudisagree.pdf))。

² 该协议特别列出了在德米特罗夫格莱德的 BOR-60 反应堆和在扎伦奇尼的 BN-600 反应堆。快增殖反应堆可以运行来产生钚的净增或净减，这取决于反应堆怎样运行，以及其核芯的构造和燃料再生区。

³ 俄罗斯的费用估计来自：“从俄罗斯军事项目撤出的武器级钚处置的费用初步评估”，美-俄钚处置费用分析和经济学联合工作小组，2000 年 4 月，第 iii 页。在因特网上的地址是：<http://www.doe-md.com/>（在“Work with Russia”栏目下）。美国的费用估计来自劳拉·霍尔盖特：“在能源部长关于俄罗斯钚处置顾问委员会上的发言”，2000 年 5 月 13 日。抄本由特区华盛顿市核信息与资源服务的凯文·凯普斯提供。

⁴ 尚德正树，“G-8 将讨论俄罗斯的钚方案”，《日本时报》2000 年 10 月 25 日；《后苏联核与防务观察》，2000 年 11 月 13 日，第 15 页。

⁵ 《核燃料》，2000 年 12 月 11 日，第 7 页。

⁶ 到 1998 年 8 月 20 日，最大保险事故总额为 94.3 亿美元。（资料来源：NUREG/CR-6617，“普莱斯-安德森法案——跨越桥梁通向下一世纪：给国会的报告”，由美国核规则委员会下属 ICF 准备，1998 年 8 月。）普莱斯-安德森法案作为原子能法的修正案于 1957 年生效。最近一次修正出现在 1988 年，普莱斯-安德森 1988 年修正法案的颁布（公共法规 100-408）。

⁷ 《核燃料》，2000 年 12 月 11 日，第 9 页。

⁸ 全称是，《美利坚合众国政府与俄罗斯联邦政府关于处置提取自核武器的高浓铀的协议》（1993 年 2 月 18 日）。

⁹ 总审计办公室，“美国购买俄罗斯高浓铀的影响”，GAO-01-148，2000 年 12 月。

¹⁰ 《核燃料》，2000 年 12 月 11 日，第 9 页。

¹ 全称是，《美利坚合众国政府与俄罗斯联邦政府关于管理和处置确定为不再用于防务目



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



伽玛近来读了许多有关钚处置、增殖反应堆和混合氧化物燃料的资料。然而，作为一条狗，许多内容在它的脑袋里一晃而过。为了帮助它提高技艺，秃顶博士为伽玛设计了一套挺长的测验。伽玛被下列问题难住了。你能给它一些帮助吗？（暗示：部分答案在《能源与安全》中可以找到）

1. 钚是怎样制造的？
 - a. 通过将无人航天器送上冥王星，航天器在那里从星球表面上取回样本并将它们送回地球。
 - b. 通过生活在迪斯尼世界的魔术狗获得。
 - c. 通过在高压下加热水，然后非常迅速地将其冷却而获得。
 - d. 通过燃料铀 238。在自然界也可以找到微量的钚。
2. 以下国家中的哪一个的电力供应中的最大比重来自核电？
 - a. 美国
 - b. 德国
 - c. 法国
 - d. 俄罗斯
3. 钚的特性包括：
 - a. 已知的致癌物质
 - b. 用来加强牙齿矫正器
 - c. 非放射性
 - d. 以上所有
4. 对或错：美国产生的大多数钚是军事活动的结果。
5. 对或错：钚最初开始用作燃料来源是因为人们认为，对核电的依赖将提高，而且铀稀缺将使钚成为节省成本的燃料来源。

6. 对或错：德国是唯一一个拥有正运行的核电厂，但已决定废除核电的国家。



7. 假设：(i) 商业分离钚存量的增加率=每年 10 公吨；(ii) 分离军用钚的增加率=每年 1.0 公吨；(iii) 到 1999 年 12 月 1 日商业分离钚存量=205 公吨；以及 (iv) 到 1999 年 12 月 1 日，分离军用钚存量=250 公吨，请回答下列问题：
 - a) 以公吨为单位估算出以下日期商业和军用分离钚的存量：2000 年 12 月 1 日；2001 年 12 月 1 日；以及 2002 年 12 月 1 日(假设增加率保持不变)。
 - b) 在何时(年、月)商业和军事分离钚的存量将相等？
 - c) 假设 1 公吨武器级(军事)钚可以制造 200 枚核武器，运用你对 7(a) 问题的回答计算 2000 年 12 月 1 日整个分离武器级钚存量可以制造出核武器的数量。
 - d) 假设制造 200 枚核武器需要 1.4 公吨商业级钚，运用你对 7(a) 问题的答案计算 2000 年 12 月 1 日的分离商业钚可以制造核武器的数量。
 - e) 2000 年 12 月 1 日分离钚总量(军用和商业结合)可以制造出核武器的总数是多少？

It pays to increase your jargon power with Dr. Egghead

BNFL

- a) 用来描述杂货商货架上最没有吸引力的水果的术语（英文中“烂的”、“皱皮的”、“无味的”、以及“蔫的”四个形容词的缩写）
- b) 英国用来称呼男性“老未婚者”的俚语（从未找到爱情的家伙）
- c) 英国核燃料工厂，核产业中英国政府所有的公司，包括再处理英国和外国的乏燃料。

Minatom

- a) 较平均水平小的原子
- b) 在政府努力中用来促进铀矿安全的卡通人物“矿工汤姆”的俗称
- c) 俄罗斯原子能部（相当于美国的能源部）

康吉玛

- a) “铯之爱”的法语
- b) 女性装配线工人的俚语，来源于有名的乡村歌曲的名字“爱玛：前进车轮的嵌齿”
- c) 法国一家国家所有的公司，为法国和外国客户运营铀矿，铀浓缩设施，再处理厂，以及燃料加工设施。

超级凤凰

- a) 超人的邪恶的双胞胎弟弟
- b) 亚利桑那州首府附近的主要地区
- c) 一座 2,900 兆瓦的钠冷却快增殖堆，现已关闭，座落于法国里昂地区克里斯-马尔维勒。超级凤凰曾是世界上最大的增殖反应堆，1998 年被永久关闭。

Gosatomnadzor

- a) 某人打喷嚏后，俄罗斯人说的话。
- b) 大精灵电力（文字上来自古俄语：“魔鬼躲藏在高压电线中”）
- c) 建立于 1992 年，俄罗斯的核规则机构（相当于美国的核规则委员会）

混合氧化物

- a) 氧化导弹，某种火箭燃料的常用名。
- b) 矿用氧气，一种特殊的氧气罐，供开采铀矿者使用。
- c) 混合氧化物燃料，二氧化铯和二氧化铀的混合物。

答案：c, c, c, c, c, c, c

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