

能 源 与 安 全

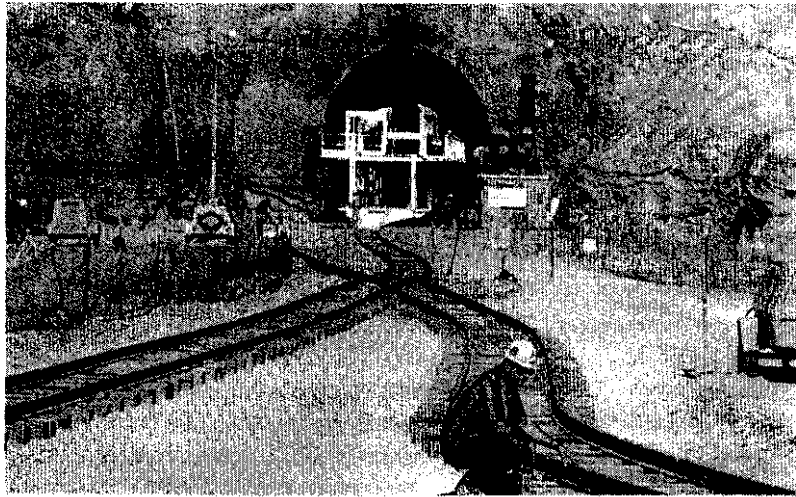
能源与环境研究所出版·美国华盛顿·一九九九年第二期

美国强放射性废料的中、短期处理问题

阿琼·麦克贾尼¹

为了处理强放射性废料，美国能源部同时提出了两项地质贮放计划，可惜这两项计划都不具备合理性。它们是：

- “废料隔离试验场”（废料隔离试验工场）。该试验场位于新墨西哥州，据称它将能够“解决”含有大量超铀放射性核素的废料问题。诸如钚等超铀放射性核素，大多是美国核武器生产计划的副产品。²
- “尤卡山贮放设施”（the Yucca Mountain repository）。该贮放设施位于内华达州，美国能源部目前正在探寻利用它来处置活化的核反应堆燃料（又称废燃料）和高放射性强度



尤卡山试验研究设施地道的北入口处。该设施位于拉斯维加斯西北方向约 100 英里处的内华达试验场边缘，据称将成为强放射性废料的贮放场所。

废物的可行性。高放射性强度废物是由于对活化燃料进行回收而产生的，它与前者一道常常被统称为“高放射性强度废料”。在所有核废料中，这两类废料包含的放射性物质所占比例高达 99% 以上。

基于“能源与环境研究所”以及其他机构业已指出的一系列原因，上

在 本 期 内

美国强放射性废料的中、短期处理...	1
想一想替代方法	9
“租赁潮”	18
尤卡山不适于作为贮放设施的证据...	26
核废料长期管理制度的变革	28
对强放射性废料处理的几点建议	31
国际贮放项目	33

述两项贮放计划都是不适当的，促使它们出台的动因并不是环境保护，而只是政治因素和自说自话般从法律高度规定的“最后期限”。³它们不会起到改善环境的效果；恰恰相反，它们只会加剧环境的恶化。举例来说，当前对环境威胁最大的超铀废料，便是70年代以前在能源部所属一些场地的浅层地表下埋放的那些废料了。由于放射性的外泄，大片土壤已经受到污染，许多相当重要的水源也日益受到威胁。但恰恰是因为能源部把主要精力放在“废料隔离试验场”计划，这些埋放的废料由于缺少资金、研究和足够的关注，问题反而更加恶化了。⁴

虽然批评家们(本文作者也是其中之一)屡屡指出现行计划的诸多失当之处，但虑及处理这些废料的长期性的办法，他们至多是草草勾画了几笔蓝图罢了。如果现有的这些颇成问题的项目以下马告终，那么，我们必须从现在开始就围绕详尽的替代方案进行十分广泛的争鸣。由于能源部未能履行两个出于政治原因而出笼的最后期限，由此所面临的越来越大的压力使它必须在废料处理方面“有所作为”，即使这在长远上看会增大风险也在所不惜。这里所说的两个最后期限是指：

- 由于能源部未能在1998年1月对核工业部门的废燃料承担起责任，而随着《1982年核废料政策法案》的施行，它有这样做的义务，因此核工业部门对能源部提出了法律诉讼。在核工业部门看来，所谓的“解决办法”当然是使它们立即摆脱这些废料，至少是无需承担法律责任。⁵它们在诉讼中提出了数十亿美

《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

图书馆员: 洛伊丝·查墨斯

簿记员: 戴安娜·科恩

项目科学家: 安妮·麦克贾尼

对外协调员: 丽莎·莱德维奇

全球对外协调员: 阿妮塔·塞斯

行政助理: 贝特西·瑟洛-希尔兹

项目科学家: 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, H K H Foundation, John Merck Fund, Ploughshares Fund, Unitarian Universalist Veatch Program at Shelter Rock, Rockefeller Financial Service, Stewart R. Mott Charitable Trust, Town Creek Foundation, Beldon II Fund, Turner Foundation 和 New Land Foundation.

制作

Cutting Edge Graphics

主管编辑: 丽莎·莱德维奇、阿妮塔·塞斯

本期英文版于1999年5月出版。

元的民事赔偿要求。假如能源部不能不支付其中的一部分的话，政府必将面临更大的政治压力，被迫对目前正在运转的核电站的那些废料承担起责任来。如果我们考虑到能

源部在核武器场地造成的困窘局面，以及它在处理自身的活化燃料方面遇到的困难，我们就不难推断出：届时，核废料的处理问题有可能踏上灾难性的倒退的一步。

被弃用的高放射性强度废料处理办法¹

废料处理办法	说明	弃用原因
液体注入法 ²	向数百米深的井内注入液态废料(有时混以灰浆)。	<ul style="list-style-type: none"> 难以估价废料隔离； 工程防护屏蔽不足； 污染物从土壤向水的迁移(可能很快)
岩石融化法	将强放射性废料灌入地下深处的矿井，从而使周围岩石融化，把废料包起来	<ul style="list-style-type: none"> 放射素的迁移充满不确定性； 难以估价废料隔离； 难以确定被融化岩石与原有岩石的相互作用； 未开发出专有技术 低热无法用于更早期的再利用废料。
冰盾法	利用冰雪的积累，在冰的压力的作用下，熔入基岩或使废料通过冰面设施	<ul style="list-style-type: none"> 冰的迁移； 形成携带废料的冰山； 难以确定废料容器系统的有效期； 不了解废料迁移的零星途径。
发射至太空法	把废料发射进入太空或随火箭进入太阳运行轨道	<ul style="list-style-type: none"> 发射过程中发生意外的危险； 废料数量巨大，需要多次太空飞行，因此风险和成本都很高； 如果为减轻发射量而只处理长半衰期的放射性核素，则需要使用分离技术，这会对环境和核不扩散带来严重的风险。

资料来源：

技术评估办公室，1985年。《管理全国的商用高放射性废料》(华盛顿特区：美国国会技术评估办公室，OTA-0-171，1985年3月)。

¹ 这些方法均在20世纪70年代被美国能源部弃用。

² 参见：费奥来那帝及阿琼·麦克贾尼，1997年。《容纳冷战垃圾：重构美国核武器设施的环境管理》，能源与环境研究所报告，1997年10月；麦卡锡等：“Lanthanide Field Tracers Demonstrate Enhanced Transport of Transuranic Radionuclides by Natural Organic Matter.”《环境科学与技术》第32卷第24期，1998年12月15日。

- 能源部曾经保证在 1980 年以前把超铀废料从爱达荷州(收集起来的绝大多数超铀废料集中在该州)运出,转至某个存放场所。但能源部并未实现这一承诺,由此酿成了一系列政治危机,爱达荷州州长甚至威胁说,对于运入本州的废料,他将报以关闭边界措施。在爱达荷州存放的核废料来源不一,其中包括海军军舰上核反应堆产生的废燃料。能源部现在已开始把超铀废料置入“废料隔离试验场”,但这只能进一步加剧超铀废料处理问题,而不能解决这一问题。(参见《想一想替代办法》一文)。

如果工业界和立法当局对有关安全问题予以足够的重视的话,那么,在数十年内现场存放废燃料和超铀废料是可行的,而且一般而言也是可以较为安全地做到的。从现有情况分析,我们是有理由这样期望的。贮存容器的设计和许可必须考虑到现场贮放数十年甚至上百年的需要。

不过,现场贮放并不是什么长远之计。这样做有可能导致一系列问题,比如对废料进行再利用、社会安定、放射物质泄漏和事故,以及废料贮藏容器因自然灾害或恐怖主义活动而遭到破坏等。在经济遇到困难时期,还很可能出现忽视安全现象。当核电站不再能够产生利润,因而遭到关闭之后,这种忽视的危险性就更加非同小可了。

政策框架

本文开宗明义地指出,“废料隔离试验场”和“尤卡山贮放设施”从

技术和环境看是不合适的,因此不当作为贮放场所。尤有甚者,尤卡山的选址也不无争议。这块地方位于西肖松尼人的土地上(肖松尼人是美国印第安人的一支——译注),虽然美国政府宣称它已从西肖松尼人手中取得此地,但“西肖松尼人民族会议”并不承认这一所有权要求。尽管如此,美国能源部、核管制委员会、环境保护署等机构都没有考虑到这个关键问题。

我们说应该放弃“废料隔离试验场”和“尤卡山贮放设施”这两项贮放计划,并不意味着投入这两项计划的资金将随之化为乌有。与世界各地其他设施一样,它们都可以用于解决与地质贮放废料概念紧密相联的有关问题的科学研究之目的。但当务之急在于,如果我们想把资源调动起来用于长期性的废料处理,那么,匆匆忙忙地把废料放置或出口到某个地方的简单做法、急功近利思想,必须走向终结了。

看一看有关人士在把洛斯阿拉莫斯的几个废料罐(装有国家航空和航天署用钚-238 作为能源的热电发生器项目所产生的废料)送到“废料隔离试验场”时的那副得意劲吧,我们就不难理解为什么要把长期性的处理办法与短期性的政治压力区分开来了。据说这几个废料罐的运送便代表了超铀废料问题得到了“解决”。但是,此举所“解决”掉的问题仅仅在于,它从物理学意义上、从政治层面上,为能源部新武器生产产生更多超铀废料提供了一定空间。

从技术角度分析,任何一种处理

计划都必须在预计废料仍然具有危险性的时段之内，尽可能完全地把放射性废料与人类环境隔离开来。依据所采纳标准之不同，高放射性强度废料的这一时段少则数十万年，多则几百万年。在不扩散核武器的特定界限内，我们必须实现这个目标，即：在相当长的时间内使人类健康和环境得到保护。有鉴于此，那些会导致(或很容易加以改动而导致)武器级核材料分离出来的技术，例如用加速器使废料发生转化，是不能予以采用的。即使这类技术的初衷是处理核废料，但其发展包含的核扩散的风险实在是太大了。⁶

为了把对于核能之未来的争论与废料管理政策区分开来，应当通过法律作出规定：现有核电站在其目前所获批准期限之外所产生的废燃料，以及新核电站所产生的废燃料，都不属于联邦政府所承担的废料处理责任范围。今后，核电站的所有人及其授权人将对自己所产生的废料承担全部责任。与此相似，五角大楼以及能源部的国防计划部门也应对它们今后生产核武器或武器级材料所产生的废料承担完全责任。

要制订出一项技术上理想的长期处理方案，可能需要花上数十年时间。因此在这个过渡期内应当采取一些必要的步骤来处理废料。举其要者：

1. 对于埋在地下的超铀废料、液态高放射性强度废料等充满危险性的废料，务必采取措施强化安全。这些废料的可靠性很低，很可能在将来带来更棘手的洗消问题，因此绝对不能对此听任不管。
2. 通过放射期、危害性等标准对废料

进行重新分类，以使用相同的办法处理危害性相当的废料。⁷诚如此，对于超铀废料、废燃料、高放射性强度废料、其他强放射性废料(如不再使用的一些核反应堆内部部件)等来说，就可以通过一项共同的长期计划得到处理了。

3. 对长期性的替代处理办法的科学技术研究达到充分的水平，从而可以对各种旨在消除废料危害的方法进行比较分析。
4. 发展工程防护屏蔽，使之能够摹拟可把放射性的迁移延滞数百万年以上的自然物质和结构。
5. 坚决反对对废燃料的再利用。
6. 在数十年内，现场或尽可能就近地、尽可能最安全地贮放废燃料、已得到稳定的超铀废料，及危害性和长期性大致相当的其他废料。⁸

财政、法律和核不扩散问题

关于重新制定出一套长期性的废料处理计划，上文所谈及的最后一个措施即现场或就近贮放废燃料，或许是最容易引起歧义的一条。核工业部门一直在大力争取在远离核反应堆的某个地方建立一个“监控下可逆转贮放”(监控下可逆转贮放)设施。⁹他们之所以强调贮放设施应远离反应堆，主要理由如下：

1. 在一个地方集中贮放废燃料，要比在数十个地方分别贮放更加安全。
2. 如果现场贮放，在核反应堆不再运转之后，由于疏忽、管理不善、资金不足等原因，很可能引发难以预见的问题。

3. 美国政府曾经承诺自 1998 年始接管这些废料。尽管核工业部门的纳税人向联邦政府的“核废料基金”提供了数十亿美元，但政府并未履行这一诺言。

其中第一个理由被核工业部门提出的次数之多，会使人们误以为这是不言自明的公理。但是，由于许多反应堆在未来十余年里仍将继续运转，所以即使建成了一个“监控下可逆转贮放设施”，在数十年内美国仍会有众多的贮放点。在转运出去以前，燃料必须在反应堆所在地存放至少 5 年。此外，如果在长期性的处理办法尚未出台之前便运走废料，由于下述各个因素，又会导致一系列新的风险：

- 把废料运至“监控下可逆转贮放”设施；
- 在监控下可逆转贮放所在地开放一个处理点，如果选址不当，势必会受到更大压力；
- 如果处理场并非在监控下可逆转贮放所在地开放，很有可能要再次运输废料；
- 如果所有废燃料都在一个地方贮放，人们对废燃料再利用的欲望将更强烈，这会造成更大的环境污染、核扩散风险；
- 废料罐的装料、卸料和再装料过程中存在安全上的问题；
- 废料罐需要经过非常谨慎的考虑后才能作出决定，如果考虑不周匆匆作出决定，势必导致风险的存在；
- 如果废燃料具有贮放空间，在对反应堆重新评估和发放许可证时，势必会受到更大压力。

上述各种风险既是不必要的，从性质上说，也超过在核反应堆所在地贮放。毕竟，这些地方是经过批准用于反应堆的运行的，而反应堆的运行所面临的安全风险，一般而言要远远大于废燃料的贮放。

核工业部门所提出的一些财力和法律方面的看法，倒是具有一定的合理性。毕竟，美国能源部与它们签订的合同书规定，能源部从 1998 年起接管废料，而能源部这样做也是为了遵循《1982 年核废料政策法案》规定的最后期限，虽然这个法案没有考虑到环境保护问题和核废料的理想处理办法。此外，在核反应堆关闭以后，废燃料的管理问题确实是一个非常严重的问题。

但上述内容都可以在现场贮放的框架内得到解决。首先，联邦政府应当利用“核废料基金”的资金，来支付处理计划滞后所导致的新增现场贮放所需。鉴于建设新的贮放空间需要做大量的法律批准和经济决策，因此在某个核电站用完了其废燃料贮放空间时，应该在这个时候考虑是否用其他办法来代替该电站的继续运行。在反应堆被关闭以后如何管理强放射性废料的问题(包括现有废料和仍在运转反应堆在其许可期内将产生的废料)，可以通过创建一个管理强放射性废料的联邦公立机构予以解决。这个机构将负责已关闭反应堆现场的所有废燃料并保证其安全，直至一项长期性的计划付诸实施。而这项长期性计划的制定，也将由该机构负责。(参见《机制改革》一文)

最后，那些非常重视核不扩散问

题的一些人士曾指出，开辟“尤卡山贮放设施”有助于在美国排除对废料再利用的可能性，从而限制钚的存量。假如开辟此种设施能够与逐步淘汰核能联系起来，这种说法或许是有价值的。但现实并非如此。事实上，假如尤卡山贮放设施被用作核燃料用途的话，为了把其中的钚分离出来，据测算需要该设施开放 300 年之久。¹⁰此外，目前在美国以外，其他国家正在增加其钚的存量，而这绝大多数是因为法国、英国、日本、俄罗斯和印度进行的民用提炼。如果说要推行核不扩散的话，使这些国家停止提炼钚便是最

明显的、最迫切的内容之一，而要美国开辟一个处理设施，对此几乎毫无助益。如果我们一味强调核不扩散这个近期目标，由此妨碍到保护未来几代人免遭大规模环境危害这一长远目标，显然是不适当的，因为这样做就意味着漠视未来若干代人的利益，使之屈服于现今地球上生活着的这代人的利益。

值得一提的是，那些一味强调核不扩散重于环境问题的人士并没有明确指出这一点，即：“废料隔离试验场”计划在核不扩散方面蕴含着严重的风险。由于用于处理超铀废料的绝

一些地点地下埋藏废料中的钚含量

地点	埋藏废料中的钚含量(单位: 千克)	相当于核炸弹数 ^a	评论
爱达荷国家工程与环境实验室	1,100 ^b	220	只有在这个地方所作估价才具有一定技术依据
洛斯阿拉莫斯国家实验室	不详	不详	根据两份不足的官方估计, 整个洛斯阿拉莫斯的全部钚-239 数量约为 610 或 1375 千克
萨凡纳河试验场	250 (此估计不可靠) ^c	50	不包括高放射性强度废料废中的钚(根据两份不同的官方途径的数字, 钚含量约为 382 或 1375 千克)

材料来源:

能源与环境研究所 1997 报告: “容纳冷战垃圾”, 第 2 章。古蒙德, R. J. 和 E. H. 贝克纳: “有关废料库存中钚含量的备忘录”, 美国能源部, 1996 年 1 月 30 日, 则与此数据有所差异。

^a 此处假定每枚核炸弹需要 5 千克钚。如果技术先进的话, 可以用比这少得多的钚造出核装置。

^b 钚-239 和钚-240。保留两位有效数。

^c 仅有钚-239。保留两位有效数。

大多数资源将归于该贮放点，掩埋于地下的废料所存在的问题将进一步趋于恶化。尽管这些位于浅层地下的堆积场在失去控制的情况下，很可能在将来某个时候沦为未来生产钷或者其他可用于武器材料的矿井。举例来说，单单在爱达荷“国家工程与环境试验室”，埋藏在地下的废料就有 1,000 千克以上的钷-239，这足以用于制造 200 枚以上的核炸弹了。（参见本文附表）

结论

本来可用于废料的长期性处理目的的资源，只要其绝大多数被作为政治上权宜之计的尤卡山计划和“废料隔离试验场”计划所占去，就不可能产生出理想的核废料处理办法。有鉴于此，美国政府应当舍弃这些计划，转而作出更加广泛意义上的努力。（参见《想一想其他办法》一文）与此同时，政府务必采取一套过渡性的处理策略，其中应该考虑到如下问题：安全贮放、核工业部门就联邦政府义务提出的合乎法理的怨言、对长期性计划至关重要的研究与开发工作。在尤卡山和废料隔离试验工场计划上的投资是可以不付诸东流的。在新墨西哥州对废料隔离试验工场予以批准、内华达州以及西肖松尼人对尤卡山计划表示赞同之后，这些设施可以用来进行使用非放射性材料进行的贮放场所问题研究。

¹ 下列人士对本文初稿及论述长期性看法的另一篇文章提出了宝贵意见，在此谨表

感谢。他们是：Rochelle Becker, Beatrice Braillsford, Lee Dazey, Yuro Dublyansky, Kay Drey, Harold Fieveson, Steve Frishman, Charles Hollister, David Lochbaum, Michael Marriotte, Mary Olson, Auke Piersma, John Winchester 和 Ian Zabate。当然，本文有关内容，全部责任均由作者本人承担。

² 按照美国能源部的界定，所谓“超铀废料”是指释放阿尔法射线、半衰期在 20 年以上、每克包含 100 毫微居里以上超铀放射性核素的废料。“超铀”这个术语则是指所有原子量大于铀的元素。

³ 可参见：阿琼·麦克贾尼与斯科特·塞尔斯卡合著的《高花费，低价值》（纽约：Apex 出版社，1992 年）；《科学为民主的行动》，第 4 卷第 4 期，第 6 卷第 1 期，第 7 卷第 2 期；以及能源与环境研究所报告“容纳冷战垃圾”（关于废料隔离试验工场问题）。关于尤卡山设施地质方面的情况，可参见尤里·杜布亚斯基：“来自内华达尤卡山开拓性研究设施样品的液态包体研究”（能源与环境研究所，1998 年 12 月）。

⁴ 详细情况请参见梅尔·弗罗凡帝和阿琼·麦克贾尼 1997 年为能源与环境研究所作报告“容纳冷战垃圾”，以及“铀后废料：TRU 及后果”，《科学为民主的行动》，第 7 卷第 2 期，第 7 页。

⁵ 在能源部主办的一次核废料问题会议上，一家核电站的代表用相当随便的口吻对能源部说，它必须从核工业部门弄走废料，“我可不管你们把它扔在哪里。”这次会议的有关纪律禁止透露说话人的身份，但并不禁止对外界透露谈话内容。而核能研究所的斯科特·彼得森在《纽约时报》上载文所提供的则是另一种情况。据称，他在会上表示“工业界最关心的是燃料的运送”。（“能源部计划运走工业部

门的核废物”，《纽约时报》，1999年2月25日）。

⁶ 关于使用核转化方法作为废料处理策略的更详细情况，请参见“嬗变不是置放替代”，《科学为民主的行动》，第6卷第1期，第4页。

⁷ 关于废料分类问题，可参见《高花费，低价值》，第22-28页和第4章，以及《科学为民主的行动》第6卷第1期，第8-13页。

⁸ 在某些情况下，例如在强烈地震区或在河流中的小岛上，在现场附近贮放可能比现场更加安全。不过，移动这些废料可能会产生自身问题，一般而言是难以做到

的。

⁹ 迄今为止已提出众多方案，其中包括：在尤卡山建一个监控下可逆转贮放；建一个“私营”监控下可逆转贮放，就像拟议中在犹他州斯科尔山谷古舒特保护地所建的监控下可逆转贮放；在能源部核武器生产场所建一个贮放设施。最后一项方案常常还包含对废燃料进行再利用的呼声（例如在萨凡纳河试验场）。

¹⁰ 马修·L·沃尔德：“在内华达掩埋核废料的计划有进展”，《纽约时报》，1998年12月19日。

想一想替代办法

为美国对强放射性废料进行理想的长远管理提出一个框架

阿琼·麦克贾尼

在现代技术带来的各种挑战中，如何处理长半衰期的放射性核素废料是其中最棘手、最令人烦闷的之一。有些放射性核素的寿命可达数百万年之久。大量存在着的钚-239可以用来制造核武器，这使得未来的核扩散分子会对废料的回收转换醉心不已。人们或许会期望通过嬗变方式来降低废料的寿命，这虽然在理论上是有可能的，但却会带来无法接受的扩散风险，而且其遗留下来的残余污染和废料仍然需要长期的处置。关于被弃用的处理强放射性废料的一些方法，请参见《美国强放射性废料的中、短期管理》一文所附图表。

换言之，对于强放射性废料的处理，我们没有什么理想的办法。解决办法本来就不多，而且每种办法都存在着某些缺陷。出于这一原因（当然还有其他一些原因），如果我们要寻找出对环境危害最小的废料处理办法的话，就必须逐步消除核能、停止制造核武器。人们或许会期许未来会产生某种技术“突破”，从而圆满地把技术、环境、核扩散领域的所有重大问题悉数解决，但即使不考虑费用因素，这种可能性也是微乎其微。无限期地在地面贮存废料也不可行（亦请参见《中、短期管理》一文）。至于安于现状、听之任之，那只能招致更加严重的问题。

其次，在现实生活中，用于解决

任何一个问题的资源都必然是有限的。迄今为止，大量的金钱都被用在并不合理、纯因政治因素所驱动的项目上了，其中最明显的例证就是位于内华达州的尤卡山计划和位于新墨西哥州的废料隔离试验场。最近，在没有规定有害废料最大

容量的情况下便把废料贮放在“废料隔离试验场”（废料隔离试验工场）一事表明，由于在这个地面岩洞花费了大量经费，由此对开放这种处理场所形成了巨大政治压力，不管这样做从环境角度看是否明智。

把废料放在废料隔离试验工场一事清楚地昭示我们，促成这种举措的经济和政治力量要超过反对开放该贮放地的力量，至少目前是这样。该地的地下咸水蓄积和其他资源依旧存在在那里，因此人类闯入该地区的可能性一如既往地是一个严峻问题。无视这些问题的存在，只是核部门对核废料管理所采取的代价高昂、极为危险的“眼不见心不烦”立场的继续罢了。要想把业已产生的废料的潜在危害和实际造成的损失降至最低，上述立场显然不足以应付其提出的科学技术挑战。

要想制订出理想的废料处理计划，必须向某几个备选方案投入充足的资源，这样才能作出合乎理性的比较。当然，要做出理想的比较需要严格按科学态度办事，因此，长期性研究的机制框架至少与技术问题一样重要。（请参见《机制改革》一文）

本文所着力阐述的三种基本处理方法或许在某种意义上符合下述目标，即在必要的时间跨度内（数十万或

数百万年），把废料与人类环境隔离开来。它们是：

1. 地质处理，指把废料贮放在地球地壳内的陆地深处；
2. 海床之下处理，指把废料贮放在海床以下能吸引离子的软质粘土沉积物中；
3. 把废料贮放在地球的地壳以下。

地质处理

在核废料的长期存放方式中，地质处理法是世人研究最多的一个。该方法的基本概念是，把废料装罐贮放在深层地下，废料罐周围采用其他工程防护屏蔽（如特制反向充填材料）。在美国，用于废燃料和军事上产生的强放射性废料的选址，正在进行考察研究的只有一处，即位于内华达州、由火山凝灰岩构成的“尤卡山贮放场”。到目前为止，已经在这座山内开掘了一条 5 英里长的地道。经过环境保护署的批准，废料隔离试验工场深层盐床贮放场已可以接收超铀废料，但还未被获准接收大多数废料罐中都存在的非放射性有害废料。¹与此相似，瑞典和法国等国正在研究花岗岩和粘土贮放场。

如果要采用地质贮放法，主要面临着三个困难：

1. 某些放射性废料可能会从装载它们的废料罐和其他防护屏蔽中泄露出来；
2. 很难预见相当长时间以后贮放场的特性；
3. 要想彻底排除人类活动无意的或蓄

意的闯入该地，实质上是不可能的。

上述问题分别在某种程度上可以通过下述努力予以解决：严格选址；工程防护屏蔽的充分研究与开发；周密地考虑人类可能闯入的起因。这里我们先看一看最后一个问题。

关于人类闯入问题，最大的难题之一就是是否向未来若干代后的人警告放射性废料的风险，以及怎样向后人发出警告。警告人们远离此地的机制所能起到的最好效果就是其是否有效殊难预料，而它可能产生的最坏后果则是可能令人们并无理由地误以为可以高枕无忧了。²尤有甚者，警告未来数代人避免无意闯入此地的措施还有可能促使世人注意到此处的贮放点，从而增大蓄意侵入藉以从废料中提取钚或其他材料的危险。

为了把蓄意侵入的可能性降至最低，可以利用贮放场和工程防护屏蔽的设计，使对废燃料进行再利用并把它运至地面的技术和经济难度远远超过新建一座生产钚的核反应堆。与此相似，如果贮放场及贮放物没有永久标识性警告，蓄意闯入的可能性也可得到减少。

针对无意闯入的最重要的安全保证在于，选择一处人们几乎不可能前来寻找资源的地方。循着这一思路，防止人类闯入的最佳保证是按下述条件进行选址：

- 贮放场及其附近的水资源很难加以利用(比如说水质不好)，诚如此，水资源受到的污染不会对人类构成危害；

- 现场及其附近没有任何已知的重要民用资源；
- 贮放场及其附近的所有元素和地质矿物，其储藏量既少于一般地理区域，而且开采利用难度也大于一般地理区域。

上述三个条件中，尤卡山计划不符合第一、第三项。总的来说，该地区水资源短缺，但可以利用地下水，而且地下水水质很高。尽管贮放场所下面的水是在大山之下，但就在紧邻此处的地方就可以很方便地抽取地下水，因此人类闯入的可能性是一个现实问题。此外，在距离尤卡山设施仅 20 英里远的阿马戈萨山谷 (Amargosa Valley)，人们现在就在利用地下水进行灌溉。再次，尤卡山还位于一个矿产丰富区。虽然这座山本身没有进行矿产资源的开发，但站在尤卡山上，人们就可以看到不远处的银矿、金矿开采。³与此相似，在上述三个条件中，废料隔离试验工场不符合第二项要求，因为其附近有石油和钾碱资源。

美国国家科学院国家科学研究委员会 1983 年成立的一个研究废料隔离的专家小组曾提交出一份研究建议，看上去颇符合上述标准⁴(但在其他方面存在不足，本文在后面将会涉及)。专家小组所建议的选址类型是位于沉积蓄水层下面、含有咸地下水的花岗岩地层。在美国东部沿海地区附近，地表淡水相当充足，这里找到了一些适合前述条件的地点。由于选址上方将有一个淡水蓄水层，因此闯入贮放处采集咸地下水的可行性几乎不存在。至于其他类型的资源，花岗石在东部地区浅层地表可以说是用之不竭，所

以从深层沉积层发掘其他已知资源的可能性也是微乎其微。

但是在贮放计划中，人类闯入问题只不过是必须考虑的诸多因素中的一个。除此之外，贮放点(或其他任何一种处理方式)都必须符合环境、健康和技术上的标准。举其要者可列举如下：

- 为保证必不可少的冗余度，贮放设施和工程防护屏蔽二者作为独立系统，都必须满足健康方面的性能指标。由于对这两个系统在长时间段之后的特性的估价仍存在相当多的不确定因素，因此这种满足是至关重要的；
- 贮放场以及工程防护屏蔽的特性必须实现明确的量化，以便令世人充分相信关于它们合乎严格的健康保护标准的声明。
- 所选地点不能存在毁灭或严重破坏独特的生态资源的可能性。举例来说，如果贮放场导致独一无二的物种置于危险境地，那将是令人不能接受的。

除了我们业已指出的许多问题之外，尤卡山计划也不符合上述第一条标准，因为从长远观点看，其地质特征不足以提供有价值的屏蔽。而国家科学院国家科学研究委员会所建议的那个特定地点则不符合上述第三条标准，因为该地点将邻近美国最丰富、最有魅力的自然环境，如果把数量巨大的核废料引入该地区，并为此进行大规模的建设工作，将会对这一独特的生态和经济资源构成严重损害。

综上所述，寻找适当的贮放地时

必须统盘考虑一系列因素，因此这是一项非常艰巨而复杂的工作。有鉴于此，现在就选择实际贮放场所甚至展开选址工作，显然是操之过急。在对选址进行科学分析和过滤之前，必须对各种不同的地质环境作出比现在多得多的基础性研究。此外，在考察贮放场所类型时必须同时考虑到工程防护屏蔽的发展。

能源与环境研究所对美国贮放计划提出的建议包括：

1. 把废料隔离试验工场和尤卡山设施改造成为仅仅使用非放射性模拟手段对地质处理法、工程防护屏蔽等内容进行研究的两个世界级研究中心。当然，这需要取得新墨西哥州对废料隔离试验工场计划的同意，需要取得内华达州以及西肖松尼人对尤卡山计划的同意。因为废料隔离试验工场和尤卡山作为贮放场所很不理想，所以应该永远排除使用它们作为贮放场所的可能性。对于已经贮放到废料隔离试验工场的那些废料，必须从那里弄走，因为该地地理位置不当，而且放射性废料的存在会限制和损害有关寻求长期性理想处理计划的研究工作。
2. 更全面、更严密地分析、研究数百万年来蕴含放射性材料的自然环境，同时辅之以开发出模拟这些自然环境的工程计划，在此基础上设计和制造出类似于这些自然材料和环境的工程防护屏蔽，放在废燃料的周围。
3. 用 10 到 15 年的时间，通过理论研究、计算机模拟、实验、地质学和

其他领域的研究工作，对各种各样的贮放地点进行分析，而且在进行上述工作过程中，不得带有任何把这些场所划分等级以备选择潜在贮放场所的主观意图。在这段时间内的废料储存，应当尽可能安全、尽可能地靠近其产出点。

海床之下处理

迄今为止，人们对海床之下处理法的研究要少于对地质贮放处理的研究。这里很重要的一点在于，我们必须把海床之下处理法与向海洋倾倒放射性废料的作法区分开来。向海洋倾倒是把废料放进海水中，在海洋里散发出去。而海床之下处理法则与此不同，它是把废料放入海床以下，如果能够成功地进行，废料不会散发到海洋里。

到目前为止，人们对海床之下处

理法有两种设想：

- 在海床下面数十米处开掘地洞，对废料放进地洞里；
- 把废料放进能穿透海床、外形上类似于狭长的射弹的容器罐内。如果海床是松软的粘土，穿透深度或许可达到数十米。⁵

在北太平洋，有一片覆盖着 100 英尺深的软质红色粘土、面积达 1 亿平方公里的海床，人们常常提及此处或许可作为处理场所。⁶

与地质处理法相比，海床之下处理法的主要优点在于，人类通过饮用水途径接触到大量放射能的可能性基本可以排除。一般而言，如果采用地质处理法，最可能导致人类接触到放射能的途径是用于饮用和灌溉的水。⁷ 不过对于海床之下处理法来说，通过食物渠道接触到放射能的可能性仍然存在。在现有技术水平下，人们明知

故犯地侵入海床之下处理场所的难度远远大于地质处理法，但伴随着技术的飞速发展，这种可能性在今后或许会出现。当然，如果在贮放地及其上方海面不作任何标识，蓄意侵入的可能性也会小于地质处理法。如果把废料贮放在海洋

深处，尤其是选在远离海岸线、没有任何适于开采的海床资源的地方，人类无意闯入的可能性更是微不足道。

由于世人对海床之下处理法的研究不够多，我们还无从了解这种贮放方式有哪些潜在问题。不过，有关的一些疑问已经被提了出来，例如海洋学专家赫斯勒和朱马尔斯指出，虽然深海的生物密度较低，但那里的生命多种多样。在有利于深海环境生物多样性的若干因素中，最重要的一点就是那里的环境非常稳定。这两位海洋学专家写道：

“即使是那些数量仍然很少的生物物种也基本没有物种灭绝之虞，这主要归功于环境的稳定性。因此，那里的生物圈可以发展到较高级的阶段……”

“虽然到目前为止还没有人能够搞清楚深海生物能在多大程度上承受环境的变化，但我们基本上可以断言，它们仅仅能够对很小程度的环境变化作出相应调整……有鉴于此，只要人类在深海海底从事什么活动，不管是废料处理、锰结核开采还是其他工作，由此造成的有害效应与人类在浅水从事同样活动相比，很可能要严重得多。”⁸

从长远观点看，采用海床之下处理法将要面临的与人类环境相隔离的问题，也许会与地质处理法颇为相似。废料的运输、置放以及许可都将构成严峻的挑战。最后一个不利因素是，关于禁止向海洋倾倒放射性废料的国际公约有可能会对海床之下处理法构成阻碍。

鉴于深海生命在人类活动面前的潜在脆弱性，海床之下处理法不能被视作废料处理问题的“解决方案”。不过，这种方式面临的问题可能不象

地质处理法那样严重，虽然两者的具体弱点有一定差异。出于上述原因，在如今条件下，应当向海床之下处理法的研究工作投入相当多的资源。当然，这些资源不应被用来向海洋和海床以下环境增加放射性材料。对于拥有核武器的国家如何把冷战时期海军装备(潜艇等)转用于和平目的，国际合作进行海床以下废料处理的研究或许可以成为其中一个重要内容。⁹

海床之下处理法的一个不利之处在于，废料需要在全地公地(the global commons)进行处理，如果有些国家对其核能和核武器作出不当决策的话，可以规避按国内法对造成问题本应承担的相应法律责任。此外，那些并未产出强放射性废料的国家也不得不分担潜在的有害影响。因此，只有在完全、不可逆地逐步淘汰核能以及用于武器目的的放射性材料、氙的生产这一前提下，才能考虑采用海床之下处理法或其他形式的国际处理方式。

生物圈以外处理法

关于在生物圈以外处理废料，可以有两种选择，一种是在生物圈以上即太空处理，另一种是在生物圈以下即地壳以下的上地幔进行处理。

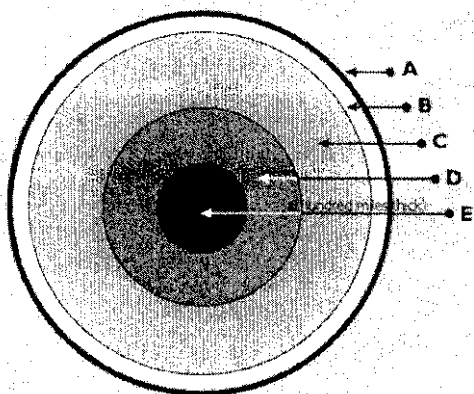
太空处理法的可行性应予排除，理由在于需要处理的废料数量巨大，太空处理法难以解决有关费用和安全问题。所以我们在这里只考虑生物圈以下处理法。因为地球各种地层相互交叉，我们很难准确地界定生物圈的下限，比如说，火山的喷发会把岩浆从生物圈以外带到生物圈内。在探讨核废料的处理时应该怎样界定“生物

圈以下”本身就必须加以相当深入的研究。以下两种定义虽然彼此不同，但或许可以用于废料处理目的：

- 即使是在岩石的细孔里也没有水份存在的地壳深处；
- 在 1000 万年以上的时间段内不会与生物圈发生物资交换的上地幔（位于地球地壳以下）的稳定部分。

地球自地表到地心，大致可以分为五层，最外面的一层即地壳，向内依次称为上地幔、地幔、外地核、内

FIGURE 2
Earth, cross section



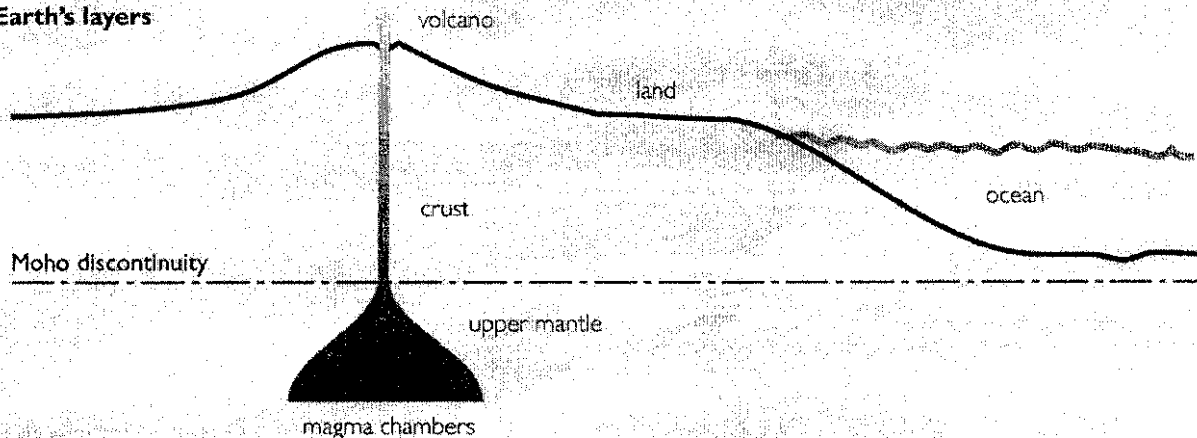
- A – Earth's crust (Few tens of miles thick)
- B – Upper Mantle (Several hundred miles thick)
- C – Mantle (~1000 miles thick)
- D – Outer core
- E – Inner core

地核。地壳的厚度大约为约数十英里（在海底约为 5 至 10 公里，而在陆地约为 20 至 70 公里）。¹⁰上地幔的厚度约为数百英里。地壳与上地幔的界线称作“莫霍洛维奇契不连续面”，简称“莫霍”，其标志是随着深度变化密度迅速增大。因此，地质学上把上地幔称为地球的一个独特地层（因而也可用于废料处理）。在某些地区，上地幔的岩石处于熔化或半熔化状态，但在大多数地区都是以固体形式存在的。对那些目前尚难不可能开掘地层的研究，可以通过间接方法进行，比如说研究两个地层交界处地震波速度的变化情况。

如果把废料贮放到地幔的最上面一部分，其优缺点将类似于在地壳深处钻孔贮放。¹¹因此在采用地幔处理法时，废料罐必须深放至地壳以下的钻洞里。这些钻洞应当在某个地质稳定地区开掘，即必须远离地球各大陆板块结合部（大陆边缘）或分水岭（例如中大西洋和东太平洋洋底下的脊）。

虽然上地幔的稳定地区有可能使废料在数百万年时间里不会渗入生物圈，但在选用这种处理方式之前，必

FIGURE 3
Earth's layers



须对这种设想进行周密的分析。与地质处理法和海床之下处理法相比，采用上地幔处理法更能够防范人类故意或无意的闯入。

上地幔处理法虽然在理论上颇为诱人，但在安全、技术和科学领域存在的疑难问题非常之多，而且这些问题是否能够得到解决尚在未定之天。举例来说，钻探进入上地幔的技术尚未问世，也没有人从事这项技术的开发，因此在可预见的将来很可能仍然不被人类掌握。但是，随着用激光切开岩石等新兴技术的出现，开掘很深钻洞将越来越成为可能。¹²我们还可以设想把废料贮放到海底的上地幔稳定地区，那里的地壳比陆地地区要薄上许多。

围绕上地幔处理法仍然存在着一系列安全上的疑问。比如说，即使钻洞的深度可以达到足够的要求，但要把废料完全贮放到上地幔，钻洞的稳定性是否能够完全得到保证？怎样应付把废料放下去时发生的故障？为了保障废料的安放，怎样在很深的地方把各个层次的地下水闭塞起来？

最后，用于估价上地幔废料处理法特性的科学尚未发展起来。例如，掘洞进入上地幔有可能为岩浆流上升到地表提供一条通道，从而会把放射性核素带上来。因此在批准采用这一处理法过程中，必须对具体地点发生这种情况的可能性作出评估。再如，人类目前尚无法对上地幔进行直接测量和研究，所以至今为止它的许多特征都是通过间接分析得出的结论。虽然有关的间接研究方法可以使我们了解上地幔的基本结构及构成，但我们

根本不知道对上地幔的了解是否能够详尽到放心大胆采用上地幔处理法的程度。如果没有新的测量技术，要想真正批准上地幔废料处理法，必然会遭到置疑。

把上述种种因素综合起来考虑，我们认为：从理论上说，通过上地幔处理法把长寿命期的放射性废料与生物圈隔离开来的潜力非常巨大，因此值得投入大量财力，虽然从目前情况看这种处理方式结出果实的可能性并不大。

结论

根据地质处理法遴选用于核废料的陆上处理的地点，现在还是为时过早。到目前为止所作研究根本不足以证明这种处理方式就是最佳途径。此外，即使是地质处理框架内的一些计划，也受到了政治上的权宜之计的影响。

本文所阐述的三种用于废料长期处理的基本方法，是能源与环境研究所认为必须平行地予以研究的，即：陆地上的地质处理；海床之下处理；上地幔处理。对上述三种方法加以研究的主要目标，应当是在十到二十年的时间内产生出足够数据和分析结果，用于对这些方案的比较。如果第一阶段的研究表明海床之下处理法或上地幔处理法大有前途，在排除陆上贮放方式之前仍然需要做进一步的工作，因为人们对贮放场所的有关问题了解较多，而另两种处理方式的有关问题可能要用更长时间才能发现。尔后，在获得了数据保证的基础上，就可以排除一种或两种选择方案，而把

资源集中用于剩下的两个或一个方案了。也只有到那个时候，考虑是否应该以及怎样展开选址工作的时机才更为成熟。

¹ 有害化学品由于塑料和其他物质的降解，有可能会在称作“放射性分解”的过程中在其容器内生成放射性废料。（参见《科学为民主的行动》第7卷第2期，第21页）。

² 凯·埃里克森：“眼不见，心不烦”，《纽约时代杂志》，1994年3月6日。

³ 迈克·麦克斯等：“自然资源规范性要求：遵从方法的背景和考虑”，CNWRA 92-022（得克萨斯，圣安东尼奥：核废料规范分析中心，1992年），第3-37页。

⁴ 国家研究理事会废料隔离系统专家小组：“地质置放放射性废料之隔离系统的研究”（华盛顿特区：国家学术出版社，1983年）。

⁵ 自由降落式海床穿透器现在已经成功地在5000米以上深度的水下把研究装置送入海床以下约60米处的沉积物。这项试验是由欧洲联合研究中心会同其他机构利用意大利ISPRA公司生产的穿透器进行的。（参见<http://www.tinet.ch/odm01/ffp-01.html>）

⁶ 米尔恩斯：同前文所引之书，以及查尔斯·霍利斯特、D.理查德·安德森和G.罗斯·希思：“核废料的海床下处置”，《科学》第213卷，第4514期，1981年9月18日。

⁷ 在诸如尤卡山等一些地方，由于火山爆发把大量放射物连带带出的可能性相当大。位于尤卡山的那个高于海平面的贮放处还可能导致碳-14以二氧化碳的形式泄露出来。虽然泄露出来的碳-14剂量本身不是很大，但由于这种元素的半衰期

很长，随着它进入植物体内，全球人口在未来数千年内摄入的总量就很大了。按照环境保护署目前使用的风险系数进行评估，仅仅因为碳-14的外泄，全球在未来相当长一段时间内就将会有数千人因为尤卡山贮放设施而感染癌症。当然，人们对这一数字是否过高估计了每人摄取的较小剂量，或者过低估计了它可能损害人类健康的程度，意见还不甚一致。参见EPA：“有关碳-14以气体形式从高级废料处置中释放的回顾”，EPA-SAB-RAC-COM-93-010，1994年4月29日。对于尤卡山设施，我们还必须关注其发生热核事件从而把放射性核素带到地表的可能。参见尤里·杜布亚斯基：“来自内华达尤卡山开拓性研究设施样品的液态包体研究”（能源与环境研究所，1998年12月）。这里还值得一提的是，虽然环境保护署仅仅考虑了癌症风险，由于碳是包括DNA在内的生命物质的一个基本要素，所以我们还必须认真考虑碳-14对基因、免疫功能、妇女妊娠可能带来的影响。

⁸ 罗伯特·R.赫思勒就彼得·A.江马斯，“深处群落与放射性废料处置”，*Oceanus*，第20卷，第1期，1977年冬，第44页。

⁹ 现在一些美国海军潜艇及其他军舰已经用于环境探测用途。

¹⁰ 西比尔·帕克，主编，《McGraw 山地科学百科全书》，纽约：McGraw 山，1987年，第140-147页和第396-399页。

¹¹ 关于在地壳内部深处掘洞用于处理废料，有论述认为可能同时适用于钚（NAS 1994，见前文）和高放射性强度废料。在高放射性强度废料处理方面的论述，请参见：A. G. 米尔恩斯：《地理和放射性废料》，纽约：学术出版社，1985年。这部著作考察了用于高放射性强度废料处理的多种方式。阅读该书还可以掌握一些地质

学基本知识，这对于理解放射性废料处理问题是颇有意义的。

¹² 乔希·夏莫：“冷战的热技术”，*Geotimes*, 1998年9月，第10-11页。

“租赁潮”：能源部把受污染设施出租出去使工人涉身险境¹

丽莎·莱德维奇²

为了降低清理费用，加快清理进程，美国能源部提出了名为“再工业化”的新计划，并据此把美国核武器生产基地的场地、设备租赁给私营公司，而这些公司所从事的工作大多与核材料或放射物没有丝毫关系。作为能源部设施“私有化”的一种形式，位于田纳西州诺克斯维尔的橡树岭(Oak Ridge, 又译奥克里奇)核武器基地正在进行再工业化。

能源部正在出租的一些场地沾染有残留放射物，因此将使用这些设施的工人会冒一定程度的接触放射物的危险，而且他们事先并不知情，未能获得类似于从事辐射工作的那些工人所享有的保护措施。

橡树岭再工业化计划就受到了公众、工会组织，以及包括能源部本身下属的“环境、安全与健康监督办公室”在内的其他政府机构的批评。其中，环境、安全与健康监督办公室指出：

“ETTP(位于橡树岭的东田纳西技术园)的再工业化计划，包括建筑物、场地及设备的租赁，都是在未获健康与安全方面保障和可行性论证、没有明确规定能源部的作用、义务和法律责任的条件下实施的。”³

虽然在某些环境下再工业化是一个

原则上可以实行的概念，但能源部在橡树岭的计划从性质上、从内容上来说都是站不住脚的。能源部在没有进行充分准备的情况下就匆匆上马橡树岭计划，这种现象其实在它的其他许多计划中已屡见不鲜。橡树岭再工业化计划存在着三个根本问题：

- 能源部租赁的是受到污染的建筑物；
- 受污染建筑物对承租方工人的健康与安全构成了危险；
- 能源部未能就保护承租方工人的健康与安全建立起审查与监督机制。

与保护橡树岭再工业化计划中私营部门工人有关的的诸多问题，使我们不得不面对一些安全与健康方面的重大问题。能源部希望降低清理费用，并为私营公司提供廉价的场地和其他设施，但是它并没有把其在冷战期间留下的烂摊子打扫干净，从而保护公众免遭残余危害，而是把公众(工人)吸引到受污染基地的周围，无谓地使这些人暴露在残余危害的面前。能源部这样做，无异于让又一代工人陷于危险环境。

背景

能源部将其原先用于核武器生产的财产出租或移交给私营部门的做法，始于90年代初期，例如佛罗里达州的皮

因内斯工厂(the Pinellas Plant)经清理、改造后移交给皮因内斯县,俄亥俄州的芒得工厂(the Mound Plant)经清理、改造后正在移交给迈阿密斯堡市,两处都是用于工业办公区。

能源部把橡树岭的一些设施租赁给私营公司的做法始于 1996 年,被租赁的设施位于 K-25 基地旧址(现在称作 ETP,即东田纳西技术园)。有些承租人为换取工作场地、设备和设施的使用权,参与了这些设施的放射性净化和拆除工作。目前,大约有 18 家私营公司签订了 40 份承租协议,雇用的工人约有 225 人。⁴能源部橡树岭基地预计可从

该设施的现有租赁协议中,在约 30 年的时间里取得超过 8 亿美元的净收益。⁵

用于租赁的受污染建筑物

根据再工业化计划,能源部橡树岭基地及其租赁代理人——东田纳西社区再利用机构,正在把受到污染的设施租赁给私营公司。大多数承租的公司都是工业制造工厂,它们所雇用的工人都来自一般公众。租赁出去的许多设施(虽然不是全部)都含有残余放射性污染。正如能源部环境、安全与健康监督办公室所指出的那样:

“能源部橡树岭活动办公室已经...把一幢建筑物的场地租赁出去,而该场地并没有经过充分净化,因此仍含有可能对工人构成危害的放射性污染、石棉、裂变物质。”⁶

“这些场地已经得到的净化...仅限于对已知受到污染的地板和墙面下部(8英尺以下)刮一刮、铲一铲,然后刷一遍漆。”⁷

环境、安全与健康监督办公室这里所指的场地,位于第 K-1401 号建筑物,它的一些混凝土和钢铁结构内部皆含有放射性污染物。⁸该建筑物的墙有 38 英尺高,但得到净化的只有 8 英尺。租赁协议规定,承租人如果要在 8 英尺线以上做什么事的话,比如说想更换一只灯泡,都必须通知能源部官员,因为那里可能存在放射性污染物。租赁协议还规定承租人不得在混凝土天花板上凿眼、不得在墙上挖洞。⁹大门紧锁、承租方工人不得入内的 K-1401 号建筑物的地下室也含有一些本来可以清除的有害物质,例如放射性

橡树岭基地

作为“曼哈顿计划”的一个组成部分,美国四十年代在田纳西州位于诺克斯维尔西北方向约 20 英里的橡树岭,建成了一套用于浓缩铀的大规模设施。K-25 工业综合体面积达 5000 英尺,系得名于作为其建筑物之一的 K-25 号工厂(当时该建筑物是世界上最大的一幢),用途是使用气体扩散方式制造高浓缩铀,以满足核武器的需要(其中包括投在广岛上空的那颗原子弹)。

气体扩散工作产生了一系列放射性的有害废料,其中包括贫化铀、聚氯联苯、氯、阿摩尼亚、硝酸根、铍、砷,并导致了氟气、六价铬进入到大气中。橡树岭基地的浓缩设施于 1987 年底关闭,但其中的一些废料(包括数十万加仑的聚氯联苯、数十英里用石棉敷设的管道、数以百吨计的放射性废料)仍留在当地的建筑物中。

资料来源:

阿琼·麦克贾尼、霍华德·胡及凯瑟琳·严编:《核废料岛:核武器生产及其对健康和环境影响的全球指南》(麻省诸塞,剑桥:麻省理工学院出版社,1995年,第43页。

全球可持续性基金会,橡树岭教育计划,“橡树岭市民指南”,田纳西,1992年5月,第20页。

污染物、松动的石棉、受污染的地下水，以及可裂变物质等。¹⁰

工人和公众面临的危险

东田纳西技术园有关设施的污染物，已经导致了工人接触有害物质事件。最近有报道说，有 5 位以前在或如今仍在 K-25 号建筑物和东田纳西技术园工作的工人受到了铍这种有害物质的影响，而这种物质会使人患上无法治愈、越来越衰弱的一种类似于肺气肿的呼吸疾病。¹¹ 报告这一事件的医生指出：

“最近我们越来越关注这样一种可能：K-25 号建筑物及东田纳西技术园的工人还在接触铍化合物。有文件表明一些建筑物... 含有铍化合物... 过去的经验业已证实，这些化合物会从它们原先所在地方游离出来，扩散到其他地方。”¹²

能源部“职业安全与健康管理局”和工会组织的一些专家组成的小组，也在 1999 年 1 月对橡树岭租赁设施的工人安全问题提出了批评。¹³ 专家小组提交的报告虽然未对租赁设施的放射性污染问题作出评估，但在其附件 D 中提及了在许多有害物质处理和作业程序方面可能违犯标准的问题——其中大多构得上“严重”违反——包括用电、机械安全、消防工作、呼吸保护器等。该报告在第 49 页指出，许多承租人并未被告知设施存在的所有有害物质。此外，职业安全与健康管理局还指出，它所获得的一些关于再工业化设施条件与状况的信息是“过时的、不准确的、不充分的。”（报告第 47 页）

虽然租赁设施的安全问题遭受了诸多批评，能源部橡树岭活动办公室还是邀请了除各承租公司以外的公众进入受

污染建筑物。1998 年 6 月，能源部及其承包商在第 1401 号建筑物（已证实存在污染物）举行了一次拍卖会，以出售来自原 K-25 基地各建筑物、经过放射性净化的机械设备。当时参加竞拍活动的 300 余人，大多来自美国东部各个地区的机械销售公司。¹⁴

如果我们考察一下清理工作，就可以更清楚地看到出租受污染建筑物的危险性了。在有些地方，能源部遮盖污染物的做法仅仅是在受污染表面上刷一层（或几层）漆。该部本身的制度¹⁵也规定应明文标识，以便警告人们残留污染物的存在，但至少橡树岭这件事上，它自己就没有这样做。¹⁶ 这里还可以再举出一个证据，那就是租赁方工作人员在已租出建筑物内仍继续进行放射性净化工作。在 K-1401 号建筑物，能源部的工作人员身着防辐射护，正在对带有放射性污染物的混凝土进行“擦拭”（即刮去或磨去一层），他们工作的地方附近便是承租方工人，而这些人并未穿着防护服，也未被分别告知要注意放射性危险。¹⁷ 显然，承租方的工人没有得到充分的保护。

按照能源部环境、安全与健康监督办公室的查尔斯·刘易斯的说法，橡树岭（监督工作）“在放射性监控方面应做的事情很多。监督人员之所以被遴选出来，不是为了跟踪承租方每个工人的情况，也不是为了监控承租人从部分受到污染的设施运走的产品，而是要收集未被记录下来的有关决策的技术依据。”¹⁸

能源部对 K-1401 号建筑物所进行的风险评估（由国际科学运用公司完成）显示，这次租赁将导致所涉工人每天都暴露在幅射环境下，而如果他们是在商

用场所工作的话，他们本来是无需涉足这种环境的。这种辐射既可能来自诸如铀和钚-239 等释放阿尔法射线的放射性核素(其中铀释放的辐射剂量非常大)，也可能来自贝塔射线和大剂量伽马辐射。¹⁹ 即使我们假定能源部所作的剂量与风险评估是正确无误的，毫无必要地把工人暴露在辐射环境下也违反了这一原则规定，即最大限度地减少辐射剂量。这个称作 ALARA 原则的保护工人和公众健康的技术规定，正是几十年来能源部和核管制委员会根据《原子能法案》管理核设施的准则之一。

其次，能源部估价的累积剂量与风险并不稳健。有些租赁设施的租赁期长达 40 年之久，而能源部估价的累积剂量仅仅只有 10 年。²⁰ 按照能源部的计算标准，单单是吸入肺部的剂量，40 年的累积剂量就会达到约 450 毫拉德。²¹ 能源部还提出了关于体外辐射风险的一系列数据。在辐射最强烈的一些地点，每年可能遭受的辐射剂量达数十个毫拉德，这相当于癌症患病率将增加十万分之四以上。但能源部在另一份文件中谈到 10 年期的风险时所提出的数字，却仅相当于这个数字的十分之一。²²

再次，这里所援引的吸入肺部剂量是根据 1995 年的环境所作出的估计，似乎并没有把承租方入住这些设施时进行清理工作时吸入的剂量包括进去，也没有把过去进行清理工作与继续进行清理工作时所受辐射的总体影响包括进去。最后，在考虑这些射风险时，还必须把工人接触非放射性材料的影响计算进去。

监督不力

能源部在租赁橡树岭各个设施时，没有对工人健康与安全问题建立起明确的监督责任。能源部环境办公室主任戴维·迈克尔斯博士 1999 年 1 月被问及谁负责承租方工人的安全问题时，回答说：“这个问题我们现在正准备作一明确规定。”²³ 但是，能源部在橡树岭出租受污染建筑物的实践已经持续三年之久了！

美国核管制委员会(NRC)目前无权管理出租出去的设施，它只是对核电站等不属于能源部的核工业单位的辐射工作安全进行一般性的监督。按照能源部橡树岭活动办公室的观点，租出场所的工人健康问题属于能源部环境、安全与健康监督办公室的管理权限，而不是能源部的义务，但是，环境、安全与健康监督办公室并没有正式接受主动监督职能。²⁴ 能源部橡树岭活动办公室在租赁协议中预先规定，各承租人必须遵守环境、安全与健康监督办公室的法令与条例，对于承租方违反有关健康与安全条例的行为，它有权以终止租赁协议的形式予以处罚。²⁵

由于承租方工人的安全问题目前缺乏外部的监督机制，因此确保健康与安全条例得到遵循的核心手段便寄托在租赁协议中的上述条款和制约规定上了。但这种安排的有效性颇值得怀疑，因为我们不清楚橡树岭活动办公室及其租赁代理人(东田纳西社区再利用机构，其任务是“尽快地、有效地推动橡树岭综合体的资源转归私营管理”)²⁶ 会不会、会用什么方式强制执行环境、安全与健康监督办公室有关条例，特别是因为它们都需要通过租出场地以支持清理工作和经济发展。有鉴于此，有关工人健康

与安全的条例规定，与能源部橡树岭和东田纳西社区再利用机构的利益是明显相悖离的。

怎样决定能源部设施已“得到充分清理”因此可供出租，这项工作也存在着不连贯性。在芒得，根据《1994 财年国防授权法案》之《霍尔修正案》，能源部设施在租赁给私营公司后，最终将移交给迈阿密斯堡市。《霍尔修正案》规定，能源部在进行出租(涉及资金量很大的场所，包括橡树岭、芒得和能源部所属的许多基地)之前，必须经咨询并获得环境保护署之同意，确保用于出租的财产已“得到充分清理”因此可供租出或移交。尽管该修正案未对保护承租方工人而明确制定出最大幅射标准，但显而易见，它所设想的对作为一般公众一部分的工人的保护、它所提出的公众参与和外界对租赁活动的监督，力度都远远大于橡树岭活动办公室现在所采取的立场。²⁷

但在橡树岭问题上，能源部却极力辩解说，橡树岭租赁活动应适用 1954 年通过的《原子能法案》，而不应受到《霍尔修正案》的约束。能源部总法律顾问在 1998 年的一份备忘录中对该部法律理解进行了阐述：

“我们经过研究发现，《原子能法案》第 161g 节赋予我们如下权利：为实施《原子能法案》规定之职能，出租使用过的财产，或者租用根据租赁协议将要使用的财产。而《霍尔修正案》赋予的租赁权限，则是与正在关闭或调整结构过程中的能源部设施在经济上重新开发有关。”²⁸

换言之，能源部的主张是：《霍尔修正案》仅仅适用于以经济发展为最终目的的设施，而在涉及能源部计划或工作时则应当援引《原子能法案》。²⁹但

是，《霍尔修正案》文本中并没有对租赁的目的作出区分。因此，能源部实际上是对它在芒得所声称的“经济发展”与它在橡树岭所声称的“再工业化”之间，自作主张地作了区别。

由于能源部至今仍未向环境保护署提供充足的数据供后者就橡树岭租赁设施的安全问题作出决定之需，³⁰因此环境保护署仍然认为，继续把那里的财产出租给私营部门是不明智之举。³¹橡树岭周围的社区团体也支持这一看法，并且提出，如果能源部仍不遵守《霍尔修正案》，环境保护署就应把这个问题提交司法部讨论。³²在这种情况下，能源部和环境保护署已开始实施一项试验性计划以期有助于解决双方的分歧。³³

对承租方工人的保护标准不够

虽然橡树岭的租赁工作已经展开三年多时间了，但能源部再工业化政策的制订工作仍在进行过程之中，其中也包括对租出设施工人的幅射保护标准。在政策制订过程中，无论是工人还是他们的代表都未被邀请参与。³⁴

能源部内部争论的一个关键问题是，再工业化是否应当被视作“能源部活动”，而隐含于其中的是下面这个问题：从事于非能源部工作的那些承租方工人到底是一般公众中的成员，还是能源部工作人员，抑或是某种新的工人群体？到底孰是孰非，将对适用于何种安全需求、法律责任、能源部的参与、培训需求造成很大的影响。³⁵

分别以不同形式对该项目承担一定责任的能源部机构共有三个，它们是：工人与社区过渡办公室，环境安全与健康

康办公室，环境管理办公室。这三个部门至今仍对上述问题争论不休。³⁶ 它们当然都知道这个问题非同小可。举例来说，能源部环境、安全与健康监督办公室的查尔斯·刘易斯指出：

“我们对能源部责任的理解是，如果这些工人被归类于公众成员，那么就应该对邻近的有害设施(即 TSCA 焚化炉)的安全分析报告作出重新评估，因为公众已不再位于基地的界线之外。”³⁷

就在能源部对其出租设施的工人保护问题展开辩论并制订有关政策之际，该部正在把橡树岭的那些承租方工人归类于能源部一般工作人员。这就是说，它规定这些工人每年可以接受的辐射剂量是 5 雷姆(CFR 第 10 章第 835.202(a) 款规定的“一般雇员因为能源部活动接受的职业性辐射”标准)。³⁸ 与环境保护署规定的一般公众成员每年因核燃料循环过程而接受的辐射剂量限制(25 毫雷姆)要高上 200 倍。尤有甚者，虽然制定了每年 5 雷姆的限制标准，但能源部并未辅之以包括培训、检查、个人辐射密切监控在内的辐射防护计划。此外，能源部在推行这一标准时似乎并没有充分告知并获得工人的同意。³⁹

综上所述，能源部在未得到外部机构管理的情况下，通过其再工业化计划，正在把本无必要的辐射危险扩展到一个新的群体的全部人员，而且保护、培训和监控工作甚至达不到它对其自身工作人员所承担的水平。

在考虑辐射防护水平时，把承包方工人与一般公众成员相区别的作法根本没有任何合理的依据。这些工人并不是受能源部雇用的，也不是为能源部的某个承包商或分包商进行能源部的工作。

他们并不属于能源部管理范围以外的辐射从业人员。即使他们属于这类人员，承包方也必须从核管制委员会那里取得许可证，并对工人进行相应的培训和防护。假如硬要把承包方工人与一般公众区分开来的话，那也只能是二者适用的培训、监督和防护标准不同，以便使他们接受的辐射剂量保持在一般公众可以接受的安全限度之内。

结论

能源部要把受污染设施租赁出去，还远远没有作好应有准备。但是，虽然它不清楚应该由谁对工人安全与健康负责，虽然它未对工人的健康与安全采取足够措施，甚至未就适用于工人的防护标准达成一致意见，却正在对外租赁这些设施。能源部在冷战时期就有着工作人员毫无必要地接触辐射而对健康构成危险的可悲记录，而它如今的所作所为，正是在这一记录上再增添一群新的工人作为受害者。能源部过去的不良做法，导致了大量人员投诉说自己健康受损，导致了至今仍困扰着工人们的原因不明的问题，导致了它自身的信誉下降，导致了一系列法律诉讼，但看来它并未从中吸取教训。⁴⁰

再次，能源部一向是在未作适当准备的情况下就匆匆投入项目的，现在又在如法炮制这种可悲的模式了。它早在三年前就把橡树岭的受污染设施租赁出去了，但直到今天还没有制定出明确的责任关系，没有真正履行 1994 年出台的相关法律，也没有连贯、严肃地遵循有关保护工人安全的原则。

建议

如果能源部决定继续其再工业化计划，它就必须立即采取措施以确保各承租公司的工人的健康与安全得到保障。能源部应暂时中止一切新的租赁活动，而是重新研究一下现有的一切租赁项目和再工业化活动，同时采取下述措施：

- 制定出带有强制性的防护标准，在涉及辐射及其他有害物质的最大可允许剂量方面，把承租方工人归入一般公众成员一类。在辐射剂量允许值方面，应采用环境保护署为燃料循环过程规定的每人不得接受 25 毫雷姆作为标准。
- 制定出明确的条例和准则，使包括能源部、承租人在内的有关各方都对工人防护承担起责任。这类条例之所以有必要，是因为能源部通过其再工业化计划，正听任非能源部所属、非辐射从业人员的一般公众以例行性的方式进入受污染地区及建筑物内。
- 对工人安全、环境保护和公众健康保护制定出明确的、具有连贯性和全面性的外部监督机制。在制定过程中，必须让工人和公众自觉地、尽早地参与。此外，还必须对工人们可能接受的以及实际接受的辐射剂量详尽地记录下来，以确保困扰能源部设施工作人员的那些问题和不确定因素不会延伸到承租方工人头上。
- 把《霍尔修正案》之规定应用于所租赁的能源部设施，并另外规定 25 毫雷姆为最大辐射剂量允许值。在应用该修正案时，还必须包括以下内容：能源部租赁决定应获环境保护署之同意；公众和工人广泛提出意见；政府在租赁过程中的透明度。

能源部在采取上述措施之前，必须在受到污染的橡树岭设施中止其租赁活动，并对承租人因不得不把业务和工人从那里的租用设施迁走而遭受的损失作出足够补偿。

¹ “租赁潮”这个短语最初出现在美国能源部环境、安全与健康监督办公室 1997 年 7 月 10 日提出的下述文件的草案：《特别回顾：东田纳西技术园区设施置放项目安全管理评估》。但在该文件定稿时删除了这个短语。

² 在此谨对玛利·布莱恩、洛伊丝·查默斯以及阿琼·麦克贾尼表示感谢，她们对本文写作提供了重要帮助。

³ 美国能源部，环境、安全和健康办公室、监督办公室：《特别回顾：东田纳西技术园区设施置放项目安全管理评估》，1997 年 9 月，EH2PUB/09-97/05SR，第 33 页。

⁴ 在 Oak Ridge Advantage 网址：<http://www.bechteljacobs.com/reindust/advantage.htm>。可调阅承租人名单。

⁵ 能源部橡树岭活动委员会 1998 年 11 月关于“再工业化”的幻灯片展示，编号为 slide 98-0824-R9 Revised11/19/98。

⁶ 《美国能源部 1997 年年鉴》（美国能源部，1997 年），第 2 页。

⁷ 同上，第 22 页。

⁸ 根据能源部橡树岭活动委员会的罗伯特·布郎的看法，在橡树岭气体扩散厂运转期间，铀渗透进入了建筑物结构中。

⁹ 劳拉·弗兰克、苏姗·托马斯和安妮·潘：“能源部在橡树岭‘对安全置之不理’，EPA 说”《田纳西人》，1997 年 9 月 28 日。

¹⁰ 1999 年 4 月 5 日、7 日与能源部环境、安全与健康监督办公室的查尔斯·刘易斯的通信。

¹¹ 山德士，查尔斯 L.：《能源生产的毒理学方面》，（俄亥俄哥伦布：Battelle 出版社），1986 年。第 157-158 页。

¹² “在橡树岭... 医生推测铍照可能在 K-25”，《核武器和材料监督》1999 年 3 月 29 日，第 13 页。

¹³ 核心小组报告，能源部设施 OSHA 对外规则的试验计划：橡树岭国家实验室以及东田纳西技术园区，1999 年 1 月。

¹⁴ 1999 年 4 月 19 日与能源部橡树岭活动办公室的罗伯特·布朗的通信，以及 Oak Ridge Advantage 网址：
<http://www.bechteljacobs.com/reindust/advantage.htm>。

¹⁵ 10 CFR 835.602。

¹⁶ 1999 年与查尔斯·刘易斯的通信。

¹⁷ 1999 年 4 月 6 日与罗伯特·布朗的通信。

¹⁸ 1999 年与查尔斯·刘易斯的通信。

¹⁹ 科学应用国际公司：“建筑遮蔽层人类健康风险的评估”，K-1401, K/EM-565, 1997 年 12 月，第 6-1 和 6-4 页。

²⁰ 同上，第 vii 页。

²¹ 这里使用 40 年期接受剂量，是针对能源部的一份文件中评估辐射风险时使用的 10 年期数字。参见国际科学应用公司 1997 年年鉴，第 6-1、6-4 页。环境保护署在对橡树岭危险评估表示关注时，就提到了能源部以 10 年或 20 年幅射方案为依据，不符合该署关于工业生产工人以 25 年为基本时间跨度予以考虑的指示精神。（参见环境保护署第 4 区橡树岭项目主任约翰·布莱文斯 1998 年 10 月 23 日致能源部橡树岭活动办公室再工业化联络官苏姗·坎吉的信）。

²² 关于最强烈幅射地点的体外幅射危险性评估，请参见国际科学应用公司 1997 年年鉴，第 6-2 页；而橡树岭活动办公室 OR-99-142-0002 号文件（附在科学应用国际公司给 Bechtel Jacobs 公司莱斯利·库西克女士的备忘录中，General Order 78B-99421C）对体外幅射危险性的估计，则比第 6-2 页数字低了十倍。

²³ 肖恩·特里：“能源部审议从工场官员到 DS&H 的租借决定”，*Inside Energy*, 1999

年 1 月 25 日。

²⁴ 核心小组报告。1999，第 49 页，以及 1999 年与查尔斯·刘易斯的通信。

²⁵ 1999 年 4 月 6 日与罗伯特·布朗的通信。

²⁶ Oak Ridge Advantage 网址：
<http://www.bechteljacobs.com/reindust/advantage.htm>。

²⁷ 美国能源部与美国环境保护署联合备忘录：有关根据“霍尔修正案”进行租借的能源部/环保署联合临时政策声明，1998 年 6 月 23 日。

²⁸ 能源部 1998 年 3 月 27 日致橡树岭活动办公室首席顾问珍妮芙·福勒的备忘录，发电人为能源部代理法律总顾问埃里克·J. 法奇，事由为“能源产权部租借”。

²⁹ 能源部橡树岭活动委员会 1998 年幻灯片，编号为 ETPP/GA 99-0014。

³⁰ 美国环境保护署固体废物与应急反应办公室代理助理主任蒂莫西·菲尔兹 1999 年 2 月 22 日致橡树岭社区联合会拉尔夫·哈奇森的信。

³¹ 环境保护署第 4 区橡树岭项目主任约翰·布莱文斯 1998 年 10 月 23 日致能源部橡树岭活动办公室再工业化联络官苏姗·坎吉的信。

³² 橡树岭社区联合会 1998 年 11 月 2 日致美国环境保护署固体废物与应急反应办公室代理助理主任蒂莫西·菲尔兹的信。

³³ 拉里莎·布拉斯：“环保署/能源部... 将解决租借问题”，《橡树岭》，1999 年 4 月 8 日。

³⁴ 1999 年 3 月 30 日与国际工业、化学与能源工人联合工会的理查德·米勒，Paper 电话交谈。

³⁵ 美国能源部，1999 年，第 21 页。

³⁶ 1999 年 3 月 26 日与美国能源部工人与社区过渡办公室主任鲍勃·德格拉塞的通信。

³⁷ 1999 年与查尔斯·刘易斯的通信。

³⁸ 《联邦法规法典》，第 500 部分到最后（华

盛顿特区：政府出版局），1997年，第423-424页。

³⁹ 核心小组报告，1999年，底49页。

⁴⁰ 《科学为民主的行动》，第5卷第3期，“弗诺德工人受到的放射性照射”，1996年10月；《科学为民主的行动》，第6卷第2

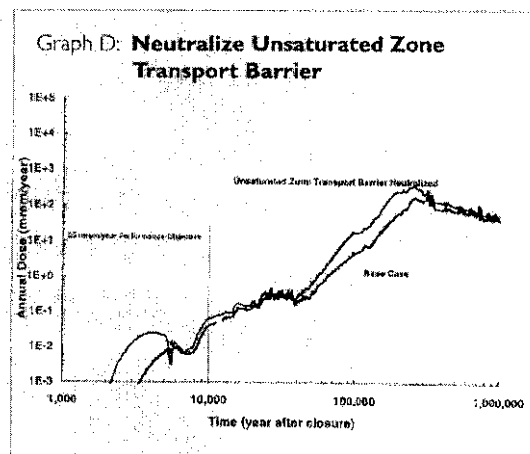
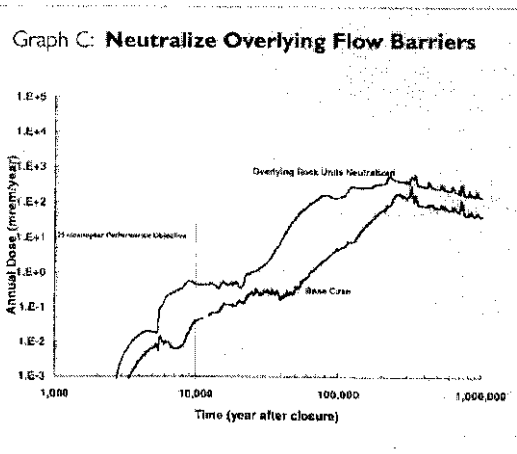
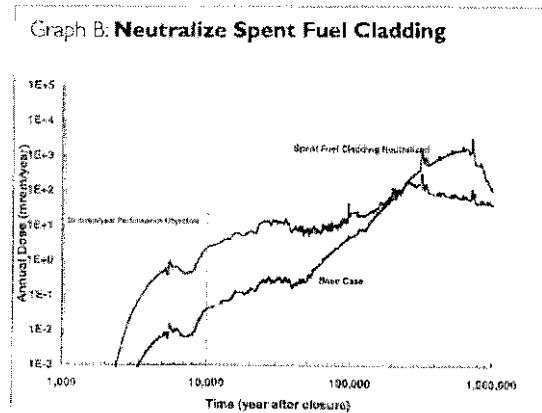
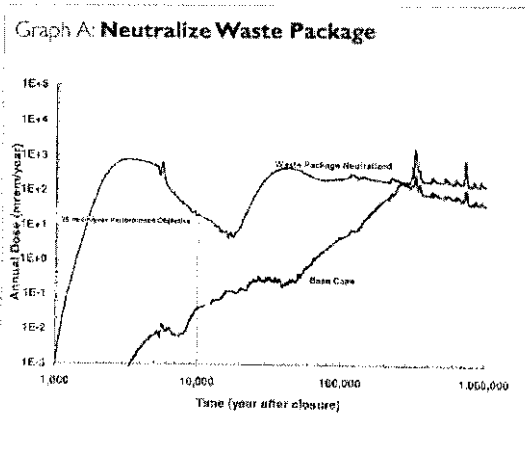
期：“工人放射性剂量大大有误”，1997年11月；以及阿琼·麦克贾尼，霍华德·胡和凯瑟林·严编：《核废料岛：核武器生产机器健康和环境影响的全球指南》，（马萨诸塞州剑桥：MIT出版社），1995年，第262-263页。

尤卡山不适于作为贮放设施的论据举隅

尤卡山不适于作为地质贮放的地点。本文所附图解，是能源部为答复核废料技术审查委员会（国会成立的一个监督机构）的质询而准备的。这些图

解分别评估了废料隔离的每种因素对剂量的影响，从而反映出各种因素的效能。

图解把整个系统中缺少某一具体



Source for all graphs: U.S. DOE Office of Civilian Radioactive Waste Management, "NWTRB Repository Panel meeting: Postclosure Defense in Depth in the Design Selection Process," presentation for the Nuclear Waste Technical Review Board Panel for the Repository, January 25, 1999.

要素时对公众的辐射剂量与系统中包括所有要素的“基线情况”作了对比。例如图解 1，它所显示的是如果没有废料包装(即废料罐)，估计剂量会增大到何种程度。显然，根据图解分析，防止公众遭受辐射的最最重要的因素就是废料罐当然燃料本身的密闭也非常重要。之所以如此，是因为这里假定陶瓷屏蔽能够防止燃料的衰变。

这些图表表明与废料包装相比，尤卡山的地质因素未起到什么作用。迄今为止，该贮放计划的主旨在于选择一处其地质条件可成为废料隔离主要因素的地点，但在选择尤卡山的情况下，这一主旨落空了。核管制委员会对尤卡山地质条件的不适当性所作出的反应是，抛弃了强调贮放密闭的原有标准，代之以允许用废料罐履行这一功能的新标准。

本着保护大众健康的精神，核管制委员会的这种反应显然是不能令人接受的。鉴于贮放手段在很长时间段里存在着极大的不确定性，很重要的一点就是，任何地质贮放计划都必须建立若干个层次的冗余。如今，不仅是分析工作表明尤卡山地质条件在密闭废料方面存在着潜在的不足，而且围绕着废料罐能否像人们预期的那样发挥作用，甚至其性能是否值得人们充满信心，有关疑问都

已被提了出来。例如，能源部的几期“同僚评估委员会”对这些问题就不得不提出了如下看法：

“只有在湿润和特定温度范围之内，C-22(能源部主张用于废料罐的一种抗腐蚀金属)合金才容易被局部腐蚀。如果 C-22 在这个范围内仍然是钝态的，那么在穿透之前，其预期寿命可达数千年。但是，如果它不是钝态的，那么在穿透之前，其寿命将只有数十年...废料包装在特定温度范围期间水的渗透模式尚未得到很好的界定。

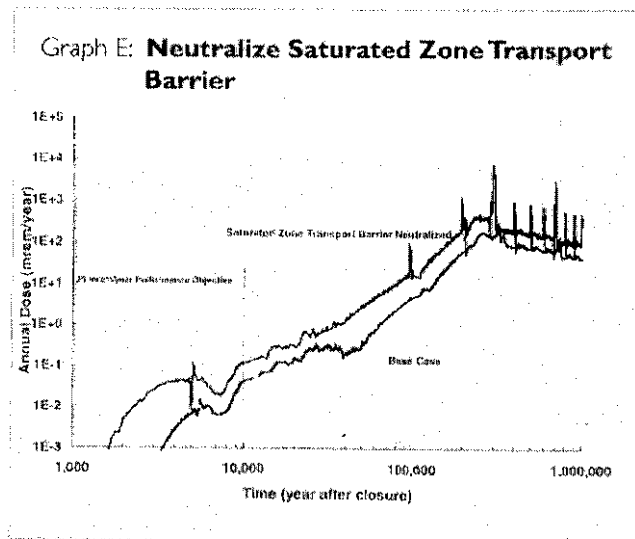
“发生大规模灾难的可能性是存在的。因此，有必要弄清这一特定温度范围，以及在这一范围内可能产生不同情况的条件。”¹

“作为一种事后认识，我们发现，在目前情况下，要想对拟议中的贮放场所在未来的可能表现作出评估，其实超出了任何一个科学家和工程师小组所具备的分析能力。究其原因，一是该系统的复杂性，二是现有数据或者是在合理时间段、用合理费用所能得到的数据难以避免的欠缺。

“...对渗透以及将经历滴水的废料包装的层数，所作估价是相当不确定的。由于这些原因，本委员会甚至不清楚现有方案是否正确掌握了单独一堆废料受到渗透时会产生什么影响。

“...很不幸，渗透分析工作存在着很大的不确定性，这是因为在 TSPA - VA 作出的剂量估计

中，对堆积废料的渗透正是最敏感参数之一。鉴于上文述及的不确定性，对渗透的过滤率的长期效应不可能在合理的



准确性基础上加以计算。此外，过滤率本身就充满不确定性，部分原因在于难以对气候作出长期预测。”²

此外，能源部还提出了一种所谓的“高温贮放”模式，即：把废料罐紧紧地包在一起，以保证贮放场所的气温在相当长时间内远远高于(水的)沸点。但是，“高温贮放”可能以难以预测甚至根本无法预测的方式改变地质体系中的岩石结构，从而使风险进一步增大。另一方面，如果贮放设施的温度不够高，不能在长时间内把水分排除出去的话，又会冒环境潮湿使废料罐被快速侵蚀的危险，这在引文中已有述及。这种潮湿环境还可能导致硅酸硼迅速衰解的威胁。硅酸硼现已选为固化高放射性强度军用废料的密闭材料。³

综上所述，无论是能源部自身的评估还是其他一些证据都表明，尤卡

山的地质条件不能把放射性废料与环境隔离开来。这是一处很不理想的贮放地点，在更多资金被无谓地消耗掉之前，应立即放弃这种做法。

¹ 克里斯·G.惠普尔、罗伯特·J.伯尼兹、罗德尼·C.尤因斯、戴德·W.莫勒、琼·H.佩尔以及保罗·A.威瑟斯庞：“尤卡山总系统表现评估，第三次临时专家审议会议报告”，第20-22页。

² 最终报告，总系统表现评估，临时专家审议会议，1999年2月11日，由罗伯特·J.伯尼兹、罗德尼·C.尤因斯、戴德·W.莫勒、琼·H.佩尔、克里斯·G.惠普尔以及保罗·A.威瑟斯庞准备，第1、6页。

³ 阿琼·麦克贾尼：“岩石中的玻璃：有关尤卡山置放地放射性硼硅玻璃处置的一些问题”，能源与环境研究所，1991年1月29日。

关于核废料长期管理制度的变革

十九世纪，英国人开始想到设立作为半独立政府机构的公立机构。公立机构虽然属于政府，但是具有它自身的明确目标，通过它独立于政府的日常活动来发挥作用。在美国，“田纳西谷管理局”就是公共机构的一个例子。作为公共机构，它可以赢得利润，也可以不以赢利为目的，这取决于它的章程。这种机构也可以保留一部分利润作为继续投资用途。由于唯一的“持股人”就是政府，因此超出投资(包括更换陈旧设备、用于机构发

展等资金)之外的所有利润，都将返还政府。

能源与环境研究所建议成立一个公共机构来处理强放射性废料的长期管理工作。目前的做法是，能源部这个产生了大量废料并且仍在继续产生废料的机构，同时也是负责选址、贮放设施建设和运作的机构。显然，成立一个公共机构与这样做相比，具有很多优点。由于种种原因，能源部的环境补救工作总是一而再再而三地陷于失败，虽然其运用的技术概念是在

正确的轨道上的。作为一个历史上不遗余力地发展核武器和核能、至今在这些领域仍存在巨大利益的机构，能源部看来并没有把它的文化转向以环境保护为中心。

至于由核工业部门出资建立一个私营的、赢利性的废料管理公司，这个设想存在着几个严重的缺陷。首先，在把最终方案付诸实施之前需要进行数十年的研究与开发工作，公司型机构由于把注意力放在赢利上面，因此是不适当的。其次，私营公司可能把它们的记录秘不示人，声称这些信息属于公司专有，即使涉及到大众健康与环境也不例外。例如，烟草公司过去几十年来就是用这样的借口，在对尼古丁以及烟草中其他对健康构成影响的物质进行研究时，许多研究成果都对外界保密。

那么，设立一个新的政府机构是不是可以呢？这种方案也不合适。贮放计划的一个重要缺陷就是在现有制度下，长期性的研究与开发需求往往会屈从于短期性的政治压力。如果设立一个新的政府机构，它也会受制于短期性的政治压力和年度预算制度，因此无法解决上述问题。

而由联邦政府创设一个非赢利性的机构，如果以适当方式成立的话，这种制度框架则可以兼具公共部门和私营部门的长处。这种机构的运作将根据适当的、独立的条例，并接受公众、联邦和州政府、受影响的当地村落的监督。这一机构将吸取核工业部门核废料管理的经验，并通过在严密审查和竞争机制下对研究与开发工作的资助，调动私营部门的创新精神。

在现有的许多政府研究计划中，这种做法已是司空见惯。但是，在授权委托时必须高度重视对一般公众保持透明度，加强审计工作力度。

无论创设的是哪一种机制，都不可能百分之百地确保长期处理工作的成功，不出现任何偏差。要使这个公立机构在技术上、财务上业绩不凡，并使公众能够进行监督，很大程度上取决于其成立时的方式和准则。限于篇幅，本文不可能对该机构的结构提出详尽的建议，但不妨碍我们提出一些重要标准和机制特点：

- 该机构的宗旨必须得到明确的阐述，其中包括：管理已关闭核电站现场的废料，为探讨和比较用于长期性处理的研究与开发工作订立合同并负责审查。有关研究工作可以交由大学、私营非赢利性团体，也可以由工业界进行，但研究议题必须按照公开审议原则予以遴选。该机构本身视需要也可以进行一部分研究与开发工作。
- 该机构负责的现场贮放必须接受核管制委员会以及各州环境机构的管理。
- 该机构董事会的组成，必须确保各州、当地美国人群、受到核电站影响的社区的利益都能得到适当体现。
- 该机构的业务运作在财务、科技等各个方面必须透明，以便公众和国会能够自始至终地进行有效监督。该机构有关文件必须得到公开，这应该作为一项基本原则。
- 公共投资进行的研究与开发项目，

其科学与技术成果必须归公共所有。也就是说，有关专利权和其他财产权属于公众，而不是属于根据合同从事这项工作的私营团体。

- “核废料基金”应被用于该机构的工作(在财务方面须接受严格的审计)，以及科学技术目标的按计划完成(对此，须充分考虑到这类科学活动固有的不稳定因素)。这笔基金应当与联邦预算的其他部分区分开来，以便使废料管理机构的运作免遭变幻无常的政治压力。如果未来数十年内的研究与开发工作能够遵循我们所设想的方式进行(请参见《中、短期管理》一文)，那么，核废料基金或许足够研究与开发工作以及现场贮存之需了，但对长期性处理工作就不敷需要了。因

此，为解决长期性处理之需，或许可以对核工业部门征收更多的管理费，从而对核废料基金作出补充。这种征收宜早不宜晚，因为到这种方案付诸实行时，许多核电站可能已经关闭了，那时再收取管理费的难度就会大得多，甚至根本无法征收了。作为一种思路，也可以让核工业部门向核废料基金注入更多奖金，把这笔钱存入发还利息的委托管理机构。如果今后并不需要这笔钱，可以把它们返还给缴税人或其指定人。

**It pays to increase your jargon power with
D r. E g g h e a d**

上地幔贮放

1. 对你送给祖父母小礼物的处置。
2. 中世纪国王们处理正餐剩菜的常用办法，将剩菜塞在大擎的帽兜里。
3. 在您的野餐炉召来了熊时，应该做的事。
4. 废料长期管理的一种理论。根据这种理论，废料罐将被深放在地壳以下的钻洞里。将废料从生物圈中移走的潜在可能性使这种方法成为研究的热门领域。目前还不存在上地

幔贮放所必需的技术，近期而言，这种技术也不可开发出来。

监控下的可逆转储存

1. 日托。
2. 您家冰箱的后角。
3. 安全的寄存箱。
4. 一个临时的、权力集中的地面储存设施，乏燃料存放在那里直到研究出长期的管理方案并得到批准。美

国已提出的地点包括尤卡山，尤他州斯卡尔山谷 Goshute 保留地，以及能源部核武器场的储存(见第 17-18 页)。

工程障碍

1. 最近在白宫附近建起的高技术路障。
2. 针对工科二年级学生的臭名昭著的综合考试。其目的就是要减少专业技术人员的毕业数量。
3. 女性铁路公司雇员发展事业中遇到的困难。
4. 人造阻遏构造，以弥补和完善贮放中放射性废料的地质阻遏。这些构造包括废料罐和特殊的修补材料。设想中，这些障碍应该模仿已遏阻了放射性几百万年的自然材料和构造。

岩石熔化

1. 继“行星湮灭”之后又一种热门的视频新游戏。
2. 二十世纪九十年代社会抗议的一种

形式。在这种抗议中，十多岁的孩子焚烧他们父母的乙基旧纪录。

3. 排行榜上名列前茅的乐队散伙的趋势。
4. 一种被弃用了的废料贮放观点。根据这种想法，高级废料将被灌入地下深处的矿区。理论上，废料释放出的热量会熔化周围的岩石，而其产生的岩石-废料熔合物将冷却、固体化，使废料不会移动。

Pangea

1. 一种在地球周围包裹一片红色塑料的新克里斯托方案。
2. 任何崇拜半山羊状半人半神像的组织。
3. 您忘记关点火开关时，锅子底部的东西。
4. 一家私人多国公司的名字。该公司寻求在澳大利亚发展国际贮放，而其他国家将高级废料运送到那里。

对强放射性废料处理的几点建议

政策与立法部门

- 应对废料进行重新分类，以便反映出寿命期和危害性。
- 在为期数十年、足以把一项长期性处理计划付诸实施的过渡期内，尽可能安全地

现场贮放或者是尽可能邻近其产出地点地贮放辐照反应堆燃料(又称废燃料)、超铀废料以及军用高放射性强度废料。

- 对于因贮放计划延期而需要的额外现场贮放资金，应由联邦政府支付，但这仅限于目前运转中反应堆在现有许可阶段内产生的废料。这笔资金应从“核废料基金”中提取，而不应来自一般纳税人的收入。
- 应坚定地反对对废燃料进行再加工。
- 目前美国尚无长期性管理强放射性废料的适当计划或制度框架。我们相信，解放这一问题的最佳思路是由联邦政府创设一家非赢利性的机构，由该机构开发和实施一项长期性的废料管理计划，并在反应堆根据现有许可期限而关闭后接管废燃料。所需进行的大多数甚至是全部的研究与开发工作，都可以在竞争机制下通过合同方式交由大学、非赢利性机构、工业界进行。应利用“核废料基金”从财政上保证该机构的运转。这项计划的全部开支均应来自核工业部门向废料基金缴纳的税费。
- 应通过法律手段，把现有核电站在其现有许可期限之外产生的或新的核电站产生的废燃料排除在联邦政府承担的废料管理责任之外。今后因为核武器或武器级材料生产所产生的废料，其责任应由五角大楼或能源部防务计划部门承担。

研究与开发

- 应当进行模仿可在数百万年甚至更长时间里迟滞放射性迁移的自然材料和结构的工程防护屏蔽的开发。
- 显而易见，在放射性废料永久性处理方式被选定之前，仍需要对处理技术作进一步的研究。“废料隔离试验场”和“尤卡山计划”业已进行了大量的工作，这些设施应被改造成为地质贮放、工程防护屏蔽及试验工程防护屏蔽材料等方面的研究中心，只能使用非放射性模拟材料。这些设施用途的改变，应得到新墨西哥州(对“废料隔离试验场”)、内华达州和西肖松尼人(对尤卡山设施)的同意。由于位置不佳，这两处设施应永远不再作为潜在的贮放场所考虑。现已贮放在废料隔离试验场的废料应从那里运走。这样才能使长期性处理方式的研究不受束缚地进行下去。
- 用 10 到 15 年的时间对各种贮放类型及其环境进行分析，而且在分析过程中不得带有任何确定、分级或选择特定地点作为潜在贮放场所的主观意图。
- 鉴于没有废料长期性处理的理想方案，必须投入大量资源用于海床之下处理方式的探索。在使用这些资源时，不得向海洋或海床下环境增加放射性材料。
- 上地幔处理法(在生物圈以下深处进行处理)作为概念，具有很多优点，因而值得投入大量财政资源，虽然实施这种方案的技术现在还不存在，而且在目前看来其技术上的可行性也缺乏保证。

国际贮放项目现状评论

国家/地区	乏燃料政策	贮放类型	地点时间	时间框架	地下研究	现状	评论
比利时	国外再处理	粘土	/	2015: 详尽研究 2030: 启动	有	正在进行地下研究	
加拿大	储存	水晶岩	无	2025: 启动	有	最近完成了环境审议	
中国	国内再处理 (正建小厂)	不详	西南地区 或戈壁滩	不详	不详	不详	
捷克共和国	储存	未定	无	未定	无	地下岩石实验室 概念研究	
芬兰	储存	水晶岩	三个候选地	2000: 地点选择 2020: 启动	有	/	
法国	再处理	粘土或 花岗岩	1个候选地; 正找第2个	2020: 启动	已提议 (+国外)	计划在候选地点开放2 个地下岩石实验室	也在研究铀后废料及地 上永久性储存方案
德国	国外再处理与 乏燃料储存	盐玻面	戈莱本	2005: 地点适应性 >2013: 启动	有	继续对戈莱本进行 地址评估?	在戈莱本有高竞争力的 临时储存设施
印度	国内再处理	花岗岩	确定了 候选地名单	~2020	有	最终地点选择过程 已开始	
意大利	国外再处理与 乏燃料储存	未定	无	未定	无	迹象表明正在进行 积极的贮放研究	
日本	国外与国内 再处理	粘土和 水晶岩	/	2000: 地点选择阶 段开始	使用 外国实验室	制定了总方针; 实验室研究项目	
韩国	储存	未定	无	未定	无	技术研究, 正发展评估 方法和置放概念。	
俄罗斯	再处理; 液体 高级废料储存 在地面储液池 并注入地下	花岗岩; 永久冻土, 盐, 凝灰岩	无	不详	已计划	建立了地点选择标准, 技术研究正在进行。	已将高级废料注入井中

国家/地区	乏燃料政策	贮放类型	地点时间	时间框架	地下研究	现状	评论
西班牙	国外再处理与乏燃料储存	花岗岩, 盐或粘土	无	2020: 启动	使用 外国实验室	在工程和地质障碍两方面都进行研究和开发	
瑞典	权力集中的 临时储存	水晶岩	5-10 个 候选地	>2003: 地点选择 >2008: 启动	Aspothard 岩石实验室	候选地点评估可行性; 将选择 2 个作地面研究, 其中 1 个进行详尽调研。	扩展的储存方案
瑞士	国外再处理与 乏燃料储存	水晶岩 或粘土	无	2020 年后	是	积极的研究与开发项目	
中国台湾	(也许进行岛 外再处理)	不详	无	2016: 地点选择 2032: 启动报告	使用 外国实验室	/	
英国	再处理	无	无	未定	使用 外国实验室	很明显没有积极的储存 研究项目	
美国	储存	火山凝灰岩	尤卡山	1998: 发表 可行性评估	是	正努力启动尤卡山。 反复计划启动某些 中央暂时储存地	

不详: 没有信息

未定: 职权国家机构尚未作出决定。

有关核废料的官方网址:

美国能源部放射性废料管理网页: <http://www.rw.doc.gov>

Nagra(瑞士): <http://www.nagra.ch>

SKB(瑞典): <http://www.skb.se>

NIREX(英国): <http://www.nirex.co.uk>

国际原子能机构: <http://www.uaea.or.at/worldatom/>

资料来源:

科学与技术议会办公室 1997: “放射性废料——下一步在哪儿?”, 伦敦: 1997 年 11 月; 唐·J. 布莱德利: 《核幕布背后: 前苏联放射性废料管理》, 哥伦布: Batelle 出版社, 1997 年; 核能机构 1998: 《NEA 核废料简报 13: 1998》, 经济合作与发展组织核能机构; J. P. 阿美亚等, 1997 年: 《国际废料管理事实手册》, 华盛顿里士兰: 太平洋西北国家实验室, 1997 年 10 月, PNNL-11677; Posiva Oy (芬兰核废料处置公司) 网址: <http://www.tvo.fi/posiva.htm>