

E&S #8

能源与安全

能源与环境研究所出版 · 美国华盛顿 · 一九九九年第一期

清除冷战垃圾

阿琼·麦克贾尼

马可·弗罗拉凡帝

除非另有说明，文中所有资料均来源于能源与环境研究所 1997 年报告“包容冷战垃圾”。

异的废料分布在 137 个场所。美能源部负责 5,000 多座废弃(无法使用)建筑物和设施，随着目前在用设施的逐渐关闭，能源部另需负责 15,000 多座。

武器生产及相关行为已使 7,900 多万立方米土壤和近 20 亿立方米地下水(足以填满一个面积 100 平方公里、深度 20 米的湖泊)遭到污染。除此之外，美能源部还负责大约 820,000 公吨的杂类物料，其中包括

新墨西哥州洛斯·阿拉莫斯国家实验室(1994 年)圆顶仓库中堆积的准备送往废料隔离试验工厂的铀后废料桶。核机构的集体智慧尚未找到令人满意的解决核废料储存和管理的方案。

585,000 公吨贫化铀，而且绝大多数为六氟

五十多年来，美国共生产了 70,000 多件核武器¹，从而带来了大量可以长期存在的放射性废料、成千上万处设施的停止使用问题以及对被污染陆地和水域的担心。美国能源部负责处理 3,600 万立方米的放射性有害废料，这些形式多样、贮藏结构各

| 在 本 期 内 | |
|-----------|----|
| 清除冷战垃圾 | 1 |
| 案例研究 | 11 |
| 废料隔离试验场 | 24 |
| 商用与军用核材料 | 27 |
| 萨凡纳河地区 | 28 |
| 废料清除与处理建议 | 29 |
| 跳跃式数据 | 30 |
| 对话 | 31 |

化铀。²

1989 年来，美能源部开始实施一项环境管理计划，旨在处理有关核武器设备的污染问题。该计划目前的年度预算约为 60 亿美元。1996 年，美能源部对未来四分之三世纪所需清除费用进行了核算，结果为 2,270 亿美元。这还只是部分费用，例如，尚未包括目前正在使用的场所。在该问题尚未得以充分认识之前，总费用预算额约为 1,000 亿美元至 10,000 亿美元不等。迄今为止，美能源部已经花费大约 400 亿美元。尽管这是一笔巨额费用，但应该将之与 1940 年以来核武器总开支一起考虑，以 1996 年定值美元计算，此项开支约为 55,000 亿美元。（其中包括五角大楼在运载系统方面的开支）。³

为什么要进行清除？

清除问题非常复杂而且费用高昂，核部门中因此存在一种倾向，即将清除问题束之高阁，无论是从字面意义上讲还是从象征意义上讲。在将严重污染场所宣布为“国际牺牲区”一事上，仍将继续磋商。除了没有必要之外，这对那些已经因为核武器发展而背负沉重负担的公众来说也是非常不公正的。牺牲区是非常危险的，因为它会将这些场所遗弃，而不对之进行任何清理，这会威胁到非常宝贵的水资源，而且会对公共安全构成危险。

《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: 帕特·奥特梅尔

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.

制作和制图: 帕特·奥特梅尔

照片: 罗伯特·德尔·特里迪塞

第 19 页图片: 能源部

主管编辑: 帕特·奥特梅尔、阿妮塔·塞斯

本期英文版于 1999 年 1 月出版。

还有许多其它因素同样表明，正在进行的监测以及每年几十亿美元的开支都是很有必要的。例如，废料和已关闭设施中的大量钚元素所带来的安全总是。发生火灾和爆炸的危险时时存在，例如 1997 年 5 月在汉福德钚元素后处理厂便发生了爆炸事件，这一问题也是需要加以考虑的。问题并不在于是否完全可以避免花费纳税人的钱，这是不可能的，它是冷战代价和遗患的一个组成部分。问题在于如何去行之有效地花费这笔金钱，以为当代和后代获得健康、环保和安全目标。

清除核武器装备实际上包括二个既相互独立又相互联系的部分。短期和中期环境补救措施强调减少严重、紧急的危险，并在可能的情况下消除这些危险。这些危险包括高放射性废料储存箱的火灾和爆炸风险，以及放射性核素的在土壤和地下水中快速移动风险。补救措施对保护无法估价的土地和水资源来说是非常必要的，例如哥伦比亚河、奥加拉拉平原、蛇河平原和塔斯卡卢萨含水带等。

补充这些努力是一项长期的废料管理措施，目的在于通过过去的操作和设备补救来对废料进行管理。这项工作的二个方面需要加以协调，以免短期行为危及长期努力。

协调短期目标和长期目标

环境补救与废料处理之间存在着

一种固有的紧张关系，即局部清除越彻底，需要当作废料处理的污染材料量也就越大。停止使用高度污染的设施、长期保护地下水免受过去一些不顾后果的倾倒方法的影响以及高放射性废料的固体化都会导致大量可以长期存在的放射性废料。（这些工序并不产生新的放射性，而是对以新形式出现的现有放射性进行管理，以期达到风险降低的目的。）

由于没有非常实用的方法可以除去放射性⁴，所以有必要通过以下方法来降低风险：对污染地区和设施加以处理、清除或者提取其中的放射性污染物质，然后再对产生的废料进行仔细处理，使之尽可能与环境隔离。环境补救措施必须一方面注重将现有的风险降低到最小程度，另一方面牢牢注重长期废料管理。除非所采取的补救措施与合理的长期废料管理措施相互协调，否则便可能只是为日后出现问题埋下隐患。毋庸置疑，过去的一些只注重短期便利的不负责的废料处理和处置做法确实导致了一些现在看来最为严重的清除问题。这种做法的最为突出的示例如下：汉福德储罐内的高放射性废料、深埋的铀后废料以及由于废料排放和倾倒不当而引起的多处含水层污染。

美能源部仍在没有将这一简单原则内在化的情况下进行操作。例如，美能源部在俄亥俄州弗诺德便实施了一项处理装有镭污染废料竖井的短期解决方案，结果使从竖井中重新提取

废料以便将之加工成更加适合于长期处理的形态变得大为复杂化(参见第 21 页弗诺德案例研究部分)。美能源部还在后处理正在南卡罗来纳州萨凡纳河地段用过的核燃料储存池中恶化的辐射燃料和标杆,以期降低源自这些材料的风险。然而,由此而产生的高放射性液体废料却在某些方面带来了更为巨大的风险,因为它们加剧了清空萨凡纳河地段高放射性废料储罐问题,同时也加大了来自这些储罐的临时性风险。

美能源部正在引起的另一个长期问题示例涉及到萨凡纳河地区装有一些重新处理废料的深埋式废料储罐的粘固(参见第 28 页“萨凡纳河地区之火、水泥与钷饰边溶剂”)。美能源部正在计划在汉福德地区进行与此类似的问题重重的粘固(参见第 11 页上的案例研究部分)。

多种多样的废料形式、用于稳定废料的技术和步骤以及废料贮藏处的位置和类型等都是相互联系的。美能源部未能将之整体考虑不失为费用高昂和效果不佳的部分原因。

武器生产及与之相关的行为已污染 7,900 万立方米土壤和近 20 亿立方米地下水。

能源与环境研究所的清除报告

能源与环境研究所在其 1997 年 10 月份名为“包容冷战垃圾”的报告中对美能源部的补救措施和长期性

废料处理措施进行了概述性研究,并对美能源部的环境管理努力做出了评价。该报告的原动力部分在于美能源部未能提出一份针对环境补救的纲领性环境影响报告(PEIS)——尽管已经合法承诺这样做(参见第 16 页注 2),同时,有关主要问题的废料管理环境影响报告的实施尚缺 3,100 万美元资金。⁵美能源部同意对环境影响报告进行评审,并于 30 天内给予答复。实际上,答复于 5 个月之后才得以出台(参见第 31 页“美能源部与能源与环境研究所关于清除问题的对话”的较前部分)。

我们在“包容冷战垃圾”中将尝试通过三类不同问题的案例研究来论述核武器生产所带来的环境遗患问题,每个案例都有其自己的重要性:

- **汉福德废料储罐:** 这是核武器设备中代价最为昂贵、技术最为困难的单个环境补救组件;
- **五个受到严重影响地区的铀后废料:** 汉福德、萨凡纳河地区、洛斯阿拉莫斯国家实验室、爱达荷州国家工程与环境实验室和橡树岭自然保护区。铀后废料是废料管理项目中代价最为昂贵的部分;
- **俄亥俄州弗诺德地区:** 提供了一种范例,一项崭新的技术在该地区得以试用,以便对被镅和钚污染的废料进行处理。

从第 11 页开始,对上述三个案

例进行了更加详细的研究。能源与环境研究所还对与核武器设备相反的所有技术性和体制性问题进行了调查。现将能源与环境研究所发现美能源部在环境管理计划中存在的问题以及提出的重新调整与完善建议概述于后。

发现

尽管 1989 年以来已经开支约 400 亿美元，但美能源部在处理补救和废料管理问题上至今尚没有一个明确的方向或者计划。该项目倍受管理不善、巨额超支、最后期限屡屡推迟以及对计划不断进行炫耀等因素困扰。(美能源部于 80 年代末、90 年代初制定的年度“五年计划”均于 90 年代中期被优先表及“风险数据表”之类的计划文件所取代，而后者又被 90 年代末的“十年计划”取而代之。“十年计划”也已几经易名，现已改称“加速清除：通向结束之路”)。这些计划无一能够为环境补救和废料管理提供一套综合性做法，计划中所建议的一些规划和战略也带来了非常严重的问题。

尽管如此，美能源部在其中一个领域还是取得了非常可观的成绩，那就是对有关核武器设备的环境问题的范围进行了比较详细的定性。90 年代初仍然所知甚少，只知道一些粗略的框架。此后，能源部花费了大量精力对这一问题进行更好的定性。例如，“铯及高浓缩铀弱点研究”(分

别于 1994 年和 1996 年出版)便阐述了铯及高浓缩铀的贮藏场所、贮藏方式及贮藏的化学形态，并对潜在的危险进行了概述⁶。铯研究注意到了罗基平地的铯贮藏容器内存在可燃气体这一现象而且高浓缩铀贮藏也存在临界风险。分别于 1995 年和 1996 年出版的二份“初始环境管理报告(BEMR)”第一次分地区概述了补救问题的庞大规模和高昂费用，并且罗列了清除任务。不幸的是，这一系列研究与报告却被上述种种局限性更大而且实用性更差的“计划”所终止和替代，这些计划更多地从政治方便角度而不是从技术角度来进行定性。

美能源部的另一成功努力在于针对汉福德储罐问题设立了技术顾问团、丰富了据之提供解决方案的知识库，从而使最为严重的 101-SY 号储罐爆炸风险有了补救措施。美能源部的另一重大努力是出台了“连接遗患”报告，对核武器生产以及由之而带来的环境污染和废料管理问题进行了综述。

其它发现：

数据收集缺乏

妨碍清除工作取得更大进展的最大障碍之一是美能源部数据收集工作不能尽如人意，这从能源部的深埋铀后废料数据中便可略见一斑。能源部的铀后废料管理计划是以一种假设为基础的，即“深埋”废料的放射性比

“可恢复性”废料的放射性以及能源部打算在未来 30 年里用于发电的废料的放射性要低得多。然而，我们能发现的唯一一次有关深埋铀后废料历史记录的综合分析是针对爱达荷州实验室进行的，完成于 1995 年⁷。该项研究测定，爱达荷州实验室大约为 64 万居里至 90 万居里深埋铀后废料，而以前的测定只有 73,300 居里。⁸因此，仅这一地点的深埋铀后废料便是所有储藏的铀后废料中阿尔法放射强度系数的二倍，据能源部测定约为 110 万居里。深埋废料还会带来更为严重的即时性危害，因为它正在威胁着宝贵的地下水资源，对之造成污染。

其它地点的铀后废料数据每年都差异很大，而且没有从科学上来说似乎合理的解释(参见第 30 页)。能源部在其为期 5 个月的“包容冷战垃圾”检查中并未拿出一份技术资料，以便解释铀后废料数据实际上是如何产生的。我们并不知道能源部是否曾出版过用于指导核武器设备周围地区数据收集工作的技术指南。自从“包容冷战垃圾”发表以来，能源部一直致力于另一项收集铀后废料数据的工作，但至今仍没有可靠的技术指南以确保资料的质量。结果是否会比过去的的数据汇编更有意义还得拭目以待。

铀后废料的情形只是更大问题的一种标志。就我们目前所知，能源部还没有做出任何重大的质量控制努力以向公众提供前后一致的正确数据。

相反，我们在能源部发表的数据中发现了许多严重的相互矛盾的情况。例如，储存工作及管理纲领性环境影响报告中测定的废料数量便与废料管理纲领性环境影响报告中测定的数量大相径庭。

重点弄错

美能源部决定保持冷战时期的军事目的开支水平，这一决定导致了其“清除”重点无法与急迫问题进行系统性协调。有些情况下，能源部针对可能会持续几千年的问题采取了虽然不很安全但符合政治利益的做法。最为突出的示例便是优先考虑废料隔离试验工场的铀后废料管理而不是去解决更为危险的深埋废料问题(参见第 7 页上的“废料隔离试验工场”部分)。

此外，能源部一直致力于保持和增加核武器生产能力，而且以牺牲健康和环境为代价。许多冷战时期的技术在环境管理项目中仍然得以采用。例如，1996 年在萨凡纳河地区重新开始 F 和 H 后处理设备室，这一做法强调的是保持后处理能力，而不是环境管理。据说这一做法会处理已经使用过的泄漏、腐蚀性燃料棒，但后处理难免会产生更多的离析钚和高放射性液体废料。这二种材料会带来能源部所有设备中风险性最高的危险。将名为“整体快中子反应堆”的一种新型增殖反应堆的后处理方案(称为“高

温冶金处理”)转化为废料管理技术便是这一倾向的另一示例。

纪念主义

美能源部仍然在未采取适当的科学和工程工作之前便仓促上马大型项目。我们将这种表面上看来颇具地方性的倾向称为“纪念主义”。

计划使辛辛那提附近弗诺德地区的三个大型竖井中的镭污染废料和钷污染废料玻璃化便是一个非常好的例证。废料未经很好地定性，处理技术也未经严格的检验。然而，能源部及其承包商 Fluor Daniel Fernald 硬是开始边设计、边建造试验工场。当主要设备熔化器交付后，有些零件无法与在现场建造的零件相互匹配。更为严重的是，1996年12月，熔化器在共有二期的第一期试验工场试验中便中途损坏，这一失败令人倍加关注，因为工程人员在技术评审期间便发现了这一潜在的问题，但该一问题并未得到圆满解决(参见第21页“弗诺德案例”部分)。

另一示例是可以处理和浓缩萨凡纳河地区90%高放射性放射性废料的储罐内沉淀工序出现故障。在花费5.5亿美元和14年时间进行研制之后，能源部于1997年放弃了这一失败项目。该工序形成了大量易燃、有毒的苯，从而引起了新的严重风险。能源部及其主要承包商对部内、部外观测人员屡屡发出的关于这一项目进

程过快、规模过大等警告置若罔闻。经过近二年的研究之后，能源部仍然希望使用较小储罐和较低温度将这一项目继续下去，代价是另需花费10亿美元。

推诿

面对未能发挥理想性能的承包体制，能源部试图采取一种名为“推诿”的做法。使用推诿做法后，项目的技术风险便可转嫁到承包商身上，而承包商只是依据固定价格合同进行操作而已。据估计，承包商只能在项目得以成功完成后——即“最终产品”交付使用之后——才能得到报酬。

能源部声称，这种缔约方式可以压低竣工成本，并可引进更多行业专家。但是，这种做法非常不适合各种项目所带来的种种问题，例如汉福德废料储罐总是或者爱达荷州国家实验室9号坑问题。能源部发现很难让承包商对项目处理错误或者技术决策不当负责。它经常允许在未经充分、详细的工程评审的情况下便增加巨额成本，弗诺德玻璃化项目便是一例。

能源部已经开始试验一种新的做法，即将环境管理项目中难度最大、复杂性最高的问题承包出去。汉福德项目从一开始便注定是前途暗淡。例如，只有二位承包商竞标二份合同，随着投标进程的发展，只剩下一家承包商，即英国核燃料有限公司。尽管能源部最初坚持必需有三至五个投标

者才能使这一做法成功，但它最终还是采取了“推诿”做法。自从“包容冷战垃圾”发表以来，能源部仍然在这条错误的道路上越走越远，与英国核燃料有限公司签订了价值 69 亿美元的“默契”合同，从而使能源部（继而是纳税人）肩负了更多义务。对于这一情形独特、难度很大的项目来说，这种协议是非常冒险和极为不妥的。风险在于很有可能会重蹈爱达荷州 9 号坑深埋铀后废料回收和处理的覆辙。

缺少清除标准

美能源部曾与美环保署达成协议，共同制定全美残余放射性标准和规定，以便规范停止使用问题。但时至 1996 年，能源部明确要求环保署停止标准制定工作，环保署同意了这一请求。能源部的理由是，准则因地点而异会更加适当，这是非常容易使人误解的观点。全国性标准可以提供一系列准则，从而减少现在和今后可能因补救和废料处理行为而引起的风险。这些标准无需规定如何评价每个地点的辐射风险因素。

美能源部正在以一种特定的方式行事，这种方式几乎无法避免各个地点之间在保护问题上具有很大的差异性。例如，对罗基平地“缓冲区”所建议的残留钚标准（每克土壤的钚 239/240 含量为 651 微微居里）几乎比能源部对太平洋朗格拉普环礁和约

翰斯顿环礁所同意的土壤含钚量高 40 倍，那里于 50 年代进行过多次大气核试验。这一做法引起了非常大的争议，能源部无法将之付诸实施，现已委托（通过一当地特别小组）风险评估合同进行一项价值 47 万美元的调研。⁹

缺少一种清除和废料处理体制

美能源部花费了上百亿美元，而且在制作大批环境影响报告时也消耗了巨资。但是，能源部至今没有形成一种技术上合理、连贯的清除和废料处理。该体制应包括以下因素：

- 一套非常严格的清除标准，该标准应能保护公共卫生，而且不会给后代带来任何残余放射性；
- 一套符合放射性废料危害性和长期性的废料分类体制；一套管理体系，该体系应能在危害持续期间将废料与环境隔离。¹⁰
- 能稳定高风险性材料和废料的临时性措施，从而在长期措施正在酝酿、制定和执行期间能够保护含水层、地表水体，使之免受进一步污染。
- 能源部至今尚无上述任何因素，甚至在大多数情况下仍未朝着正确的方向努力。能源部将重大项目仓促上马并将长期和临时步骤合而为一，从而牺牲了短期安全。核管理委员会的废料分类体制便上很好的例证，该体制其实不过

是一些规定的大杂烩，在给废料进行定义时考虑得更多的是废料来源而不是废料的管理需要、长期性和危害性。

能源部认为，“清除工作完成”需要一种前后矛盾、零碎分散的环境补救做法，并且可能会留下“遗留废料”，例如汉福德和萨凡纳河地区浅土埋藏中的大量地下埋入式铀后废料。“完成”是个容易引起误解的术语，意味着许多问题将会得以解决。事实上，能源部的所做所为不能不让人忆起过去曾被宣传为废料处理“方案”的那些目光短浅的权宜做法。

结论与建议

能源与环境研究所得出的结论是，总的来说，能源部的环境管理计划面临着非常严重的问题，这些问题只有通过彻底的调整才能得以解决。根据目前的做法，不仅需要浪费巨额金钱，而且主要项目都会失败，从中还无法学到任何经验教训。产生更多危险废料的冷战时代技术——如重新处理——正在以环境管理的名义加以推行。目光短浅、设计有误的补救项目正在变为日后更加严重的环境问题。一些基本数据质量之差甚至令人毛骨悚然，许多数字从一年跳跃至下一年、从一份报告跳跃至下一份报告，根本没有经过任何解释、协调、质量控制或者的评审程序。

我们发现，能源部系统(包括其

承包商)中确有一批能力很强的专业人员，但我们还是对能源部的项目得出这些非常悲观的结论。美国上下对清洁环境不乏广泛而深入的支持，能源部设施附近的公众也不例外。这些因素可以成为良好的环境管理项目的部分坚实基础，但是，仅靠这些又远远不够，还需要在制度上和技术上进行改革，我们将在下文对之进行讨论。

要进行项目调整必须先将环境补救和废料管理项目结合在一起并对之进行彻底的重新评估。对处理核武器生产带来的放射性遗患的多种选择进行验证的起点是，我们不能按照常规的短语意思来“将之彻底清除”，相反，目标应是降低风险，包括以下三个方面：

1. 采取紧急行动以降低环境风险或者健康灾难(如高放射性废料储罐出现泄漏或爆炸)以及无法弥补性污染的进一步扩散(如引起独一无二的含水层资源污染)；
2. 在放射性废料仍然危险的期间内对之进行容纳处理；
3. 正确处理放射性和非放射性废料，清除问题和癌症以及非癌性健康风险。

我们对从上述三个风险降低原则中派生出来的其它一般性建议在第24页有关部分进行了概述。

此外，能源部应该修订其有关全国清除标准的决策，并与美环保署在

制定严格标准方面加强合作。该标准应该向公众强化能源部及其承包商的责任性。我们建议，当有关地点得以开始用于没有限制的用途时，环境补救和废料处理机制应包括下列各项技术要求：

- 在全国范围内适用的补救标准(但同时允许地方社区制定更为严格的标准)，标准中应包括对世代和环境的健康卫生保护内容；
- 有关地点开始用于没有限制用途的“最低可实现”导向在适当的情况下应为补救至背景水平，或者将剂量保持在每年 2 毫雷姆以下(英国 ALARA 指导性指标)；¹¹
- 补救标准应将威胁存续期间的最多暴露个人(尤其是仅能维持生活的农民)的最大剂量设定为 10 毫雷姆，并参照“净水法案”中的有关规定制定有关地下水保护的特别规定；
- 系统考虑非癌症风险以及放射性材料风险与非放射性有毒材料风险之间的协合作用，并对有些污染物进行更加严格的限制，如果为卫生防护所需的话。
- 当有关地点开始用于没有限制的用途时，应遵循相同的剂量和风险指导性指标。限制与无限制用途之间的主要区别应基于这样一种事实，即用于限制用途时，可以通过无限制用途时无法使用的制度性和技术性方法来对剂量进

行限制。

¹ 其中包括生产后又加以拆除的武器。在 20 世纪 60 年代中期这一顶峰期间，美国武器库中大约存放有 32,000 枚弹头。

² 美能源部环境管理办公室，“连接遗惠”，能源部/EM-0319(华盛顿：环境管理信息中心，1997 年 1 月)，第 105 页图 6-1。

³ 由斯蒂芬·I. 舒瓦茨编辑的“原子审计：1940 年以来美国核武器的代价及后果”之第 4 页，(华盛顿，布鲁金斯学会出版社，1998 年)。另请参见“科学为民主的行动”V6N4/V7N1 第 21 页。5.5 万亿美元并不包括《原子审计》作者为未来清除与废料处理费用所估计的 3000 亿美元(不包括任何新武器生产活动)。

⁴ 有些人鼓吹将长期存在的放射性核素转换为短期存在的放射性核素。此举涉及到建造更多核电站(并不一定是今天常见的类型)和机组设施，以便对放射性核素进行分离。而这些设施又会带来新问题、新废料和巨额费用。同时还会引起核扩散问题。有关对国家研究委员研究废料管理技术转换问题的评论，请参见“科学为民主的行动”第 1 期第 6 卷第 4 页。

⁵ PEIS 费用远远超过 3,100 万美元。但能源部宣称，其中部分开销用于支持工作，而这部分工作无论如何总是必需的。

⁶ 这些研究由能源部环境办公室、安全办公室及健康卫生办公室发起、筹资和进行，并非环境管理项目。环境管理项目从未在内部进行过此类危险检查。

⁷ 洛克希德·马丁公司爱达荷州技术公司，“1952 至 1983 年间 INEL RWMC 处理区地下埋藏废料中放射性及非放射性污染物详细清单”，INEL-95/0310，修订本第一版(爱达荷福尔斯：爱达荷州国际工程实验室，1995 年 8 月)。

⁸ 参见《容纳冷战垃圾》第 84 页。请注意，阿尔法辐射源的放射性只是铀后废

料中全部放射性的一部分。存储废料放射性的一半以上来源于裂变产品和其它非铀后阿尔法辐射源放射性核素；埋入地下式废料的放射性有多少来源于裂变产品和其它非铀后阿尔法辐射源放射性核素尚不清楚。

⁹ 能源部向 Rocky Flats 放射性核素土壤作用水平监督特别小组提供了 47 万美元，该小组是一个自立团体，它选定风险评估公司进行该项研究。风险评估公司将对 Rocky Flats 土壤作用水平计算进行评审。（注：风险评估公司前称为“放射性评估公司”）。

¹⁰ 从某种意义上讲，每单位重量放射性的长期性和危险性成反比关系。半衰期较长的放射性核素的单位重量放射性较低，反之亦然。然而，多种放射性核素的半衰期是这样的，即少量材料即具有高度危险性，且材料半衰期很长。钷-239 和镅-241 便属于这种放射性核素，其半衰期分别为 24, 100 年和 1,600 年。

¹¹ 本处“背景”水平指天然污染源放射性与核试验辐射微尘放射性之和。但是，不应包括在该地区从事活动而引起的放射性污染。

案例研究之一：

汉福德地区的高放射性废料储罐

表 1：汉福德地区储存废料中的长寿命期放射性核素

| 放射性核素 | 半衰期(年) | 估计的总储存量(居里)* |
|-------|---------------|--------------|
| 碳-14 | 5,730 | 5,300 |
| 锶-90 | 29 | 62,000,000 |
| 锝-99 | 213,000 | 40,000 |
| 铯-137 | 30 | 47,000,000 |
| 铀 | | |
| 铀-235 | 704,000,000 | 20 |
| 铀-238 | 4,460,000,000 | 460 |
| 钍-232 | 2,140,000 | 141 |
| 钚 | | |
| 钚-238 | 88 | 860 |
| 钚-239 | 24,110 | 31,000 |
| 钚-240 | 6,537 | 8,000 |
| 钚-241 | 14 | 50,000 |
| 镅 | | |
| 镅-241 | 432 | 150,000 |
| 镅-243 | 7,370 | 19 |
| 钚-244 | 18 | 1,600 |

*衰变修正至 1996 年 1 月。

来源：《容纳冷战垃圾》，第 199 页。

40 年代初建造于华盛顿州中南部地区的汉福德设施是美国核武器计划的二大钚生产中心之一（另一个为南卡莱罗纳州的萨凡纳河地区）。1943 年至 1963 年间，共在汉福德地区建造了 9 个钚生产反应堆和 5 个用于从铀和裂变元素中以化学方式分离钚的再处理车间。所有反应堆和再处理车间均已于 80 年代末关闭，尽管仍定期有人提议应重新开始上述两地的某些作业，例如进行氙生产。

汉福德地区的 5 个再处理设施导致了大量含有裂变元素（如锝 99、铯 137 和锶 90）的

高放射性液体废料以及钚、铀和强烈放射性元素的残留物。汉福德地区废料规模大、复杂性高，早已成为美国上下最难治理的问题。汉福德地区的 177 个储罐中储存有大约 5,400 万加仑(206,000 立方米)的高放射性废料，其中含有大约 2 亿居里的放射性能量。(在这 177 个储罐中，149 个储罐为单壳储罐，28

个为较为新型的双壳储罐。)这些放射性能量从容积上讲，占全美高放射性废料总量的百分之六十(从数量上讲，萨凡纳地区储罐中容纳的放射强度数量最大，约占全美放射强度总量的三分之二)。

在汉福德地区的单壳储罐中，约有 67 只储罐曾经出现过渗漏现象或者被怀疑曾经出现过渗漏现象。渗漏物的容积和放射强度含量仍然具有很大的不可确定性。官方数据曾多次公布于众，但随着新资料的不断出现，容积和放射强度的推定数量通常呈上升态势(参见表 1、表 2)。

渗带污染

储罐周围地下水位之上的土壤以及储罐下方的土壤——即渗带——已被上述渗漏所污染。其它卸料也使汉福德地区的渗带遭到污染。例如，大量已遭放射性污染的液体废料被排放到土壤中以及专为倾倒而建造的“废料排除装置”(沟渠)中。渗带高度污染后便会给西北部最为重要的地表水

1984 年在汉福德 200-地区储罐园建造一座百万加仑的“双壳”碳-钢储罐。

资源即哥伦比亚河带来严重的风险，该河流经汉福德自然保护区。无法治理渗带并排空储罐中的放射性废料会给该地区及其人民和经济带来持续不断的威胁，并会出现无法预料的负面后果。能源部正在将一些废料从单壳储罐移至双壳储罐中，以期降低渗漏风险。

最新数据表明，由于储罐渗漏而带来的污染似乎比以前想象的还要严重。1998 年 8 月，能源部发表了一份报告，对所谓“SX 储罐场”的渗漏情况进行了调查，调查集中在 5 只储罐上：4 只曾经出现过渗漏现象，1 只被认为从未出现过渗漏现象。¹报告估测，大约已有 413,000 加仑已被铯 137(一种放射性核素，半衰期约为 30 年)污染的液体从 4 只储罐中渗出，放射性强度高达 100 万居里(上限估计)。该报告认定的下限估计约为该数量的一半。

报告未针对主要参数设想的变化情况对结果的灵敏度进行分析。报告称，尽管存在大量不稳定因素，但对

渗漏废料容积进行的较新估量要比早期估量高得多。根据以前的估计，自所有储罐中渗漏出去的污染液体的铯 137 容量约为 100 万居里。表 2 即为从 4 只储罐中渗漏出去的液体容量的各种估计情况。

能源部副部长厄内斯特·莫尼兹最近开始着手确定一种旨在对渗带污染进行处理的科学做法，这一努力必须继续享有优先权并得到高度重视。此外，还需要对储罐废料治理和储罐停止使用问题进行彻底的重新考虑，因为现有计划似乎依靠的是地下水模式，由于最新调查以及发现了有关放射性核素移动和渗漏的数据，该模式已被宣告无效。

储罐补救

汉福德地区的所有渗漏储罐均为“单壳”储罐，即内罐周围没有包以另一层完整的钢质保护壳(请参见第 19 页中的示意图)。149 只单壳储罐

(均已超出了为期 25 年的设计使用年限)共装有可泵送液体约 5,700,000 加仑。能源部储罐管理工作的一个重要方面便是将液体从单壳储罐泵送到双壳储罐中，以便防止出现更多渗漏现象。

但是，泵送过程面临着很多挑战。液体以沉清液体和隙间液体的形式存放在储罐中。沉清液体出现在罐中泥状沉积物和盐饼(已经结晶为化学盐的废料)的顶部。沉清液体勉强可以从储罐中直接泵出，但隙间液体存于盐饼和泥状沉积物的孔隙之间，所以更加难以泵出。实际上，即使进行大范围泵汲之后，还会有相当一部分液体可能仍保留在孔隙中。因此，在储罐被完全泵干之前，很难确保储罐不再出现渗漏现象。

能源部现已采取一种容易使人产生误解的做法，即使在储罐中仍装有多达 50,000 加仑隙间液体的情况下也会宣布该储罐已经处于“临时稳定”状态。此外，能源部在宣布储罐处于“临时稳定”状态时根本没有任何化学或应用辐射学标准。由于这些储罐中还含有易燃性和/或爆炸性材料而起火风险又取

表 2: 对四个储罐渗漏情况的估计
(加仑)

| | SX-108 | SX-109 | SX-111 | SX-112 |
|-----------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 汉仓 1996 年的估计 | 2,400 ~35,000 | <10,000 | 500-2,000 | 30,000 |
| Grand Junction 公司 1996 年的估计 | 35,000 | 上至 250,000 | “无可靠的 渗漏估计” | 30,000 |
| 阿格纽与考宾 1998 年的估计 | 102,000 ~203,000 | 56,000 ~111,000 | 14,000 ~55,000 | 22,000 ~44,000 |

资料来源:摘自:《容纳冷战垃圾》第 184 页。B.M. 汉仓:《废料储罐总结报告》,HNF(前 WHO), EP-0182, (华盛顿里士兰,美国能源部环境治理与废料管理办公室,1996); 美国能源部,“汉福德储罐场 Vadoze 区特征项目, SX 储罐场报告”,能源部/ID/12584-268, GJPO-HAN-4, (Grand Junctionx 公司: Grand Junction 项目办公室, 1996 年 9 月); 阿格纽和考宾 1998 年第 7 页(完整参考见注解 1)。

决于储罐内现有的水量，将液体泵出单壳储罐(包括水和其它液体)便既可改变单壳储罐又可改变双壳储罐中的风险。因此，宣布储罐处于“临时稳定”状态时，应对化学和应用辐射学标准进行仔细研究。

尽管为了防止出现更多渗漏现象需要将液体从单壳储罐转移到双壳储罐中，但这样做也会带来新的担心，例如，被泵空的储罐中的温度会有所上升，而泵入液体的双壳储罐内的化学性质也会发生变化。此外还有另一种担心，即将液体泵出可能会导致单壳储罐中出现新的腐蚀现象，随着液体的泵出，储罐内壁的更多部分便会从液体与空气的接触点(“液体—空气交界面”)开始暴露出来。至今未能很好理解的电化学现象可能会在交界面引起非常迅速的腐蚀现象。

储罐废料的长期管理

除了防止渗漏这一短期目标之外，从长期而言，必需从储罐中取出废料并使之变为对环境的危险程度最低的形式。能源部的最新计划是将99%的废料从储罐中取出(数量可能还会更多)，将取回的废料分离为放射性高的废料流放射性低的废料流二个部分并对这二种废料流进行玻璃化处理(变成玻璃)。对放射性高的废料在地质贮藏室中进行处理，对放射性低的废料在现场进行处理。这一计划存在许多问题，其中包括会大量增加在现场倾倒的高放射性废料的数量。

另一个问题是，实施玻璃化计划时缺乏足够的技术准备，而且在万一失败的情况下没有适当的备份计划。能源部授予英国核燃料有限公司(一家由英国政府所有的公司)一份价值69亿美元的“默契”合同，以期将废料玻璃化成汉福德储罐废料容积的大约百分之十左右。这份合同带来了非常严重的问题。首先，由英国核燃料有限公司提出的技术未能针对汉福德地区独特的废料类型进行充分的试验；其次，当设施设计工作尚未完成一半时便需开始建造玻璃化车间。如果这一技术失败，美国纳税人将会承担英国核燃料有限公司的费用。

与英国核燃料有限公司签订的这份合同还会带来安全问题。按照能源部人员的说法，英国核燃料有限公司为汉福德合同而提交的安全证书“制作水平极差”。²除此之外，英国核燃料有限公司在其本国的记录也很难尽如人意，该记录在英国由“英国公务秘密法案”控制。能源部未能利用与英国核燃料有限公司驻美分公司签订合同这一契机提出让英国核燃料有限公司在英国的业务记录公布于众。我们相信，将这些记录公布于众有利于对该公司如果完成其在美国的业务进行评估。

由于该计划将会涉及汉福德地区玻璃化“低放射性”废料的处理问题，能源部预想进入深度贮藏室的废料会有所减少。但是，能源部未能考虑以适当的公开市场同等价格进行更多当

地处理所需要的费用。更为甚者，被指定用于现场处理的所谓“低放射性”废料在英国、法国等其它国家均会被归类为“中放射性”废料，并要求对之进行深度贮藏处理。

最后，能源部似乎未能计划储罐本身的停止使用问题。相反，该计划似乎要求在储罐被泵空之后向罐中浇注水泥，尽管这种做法可能会使罐中高放射性废料留下百分之一。许多储罐中的这种废料的放射性会带来一种非常严重的长期环境危害。如果这种废料从储罐中渗漏，储罐的粘结作用便会带来非常棘手的问题，从而使得日后对渗带的治理工作大为复杂化。

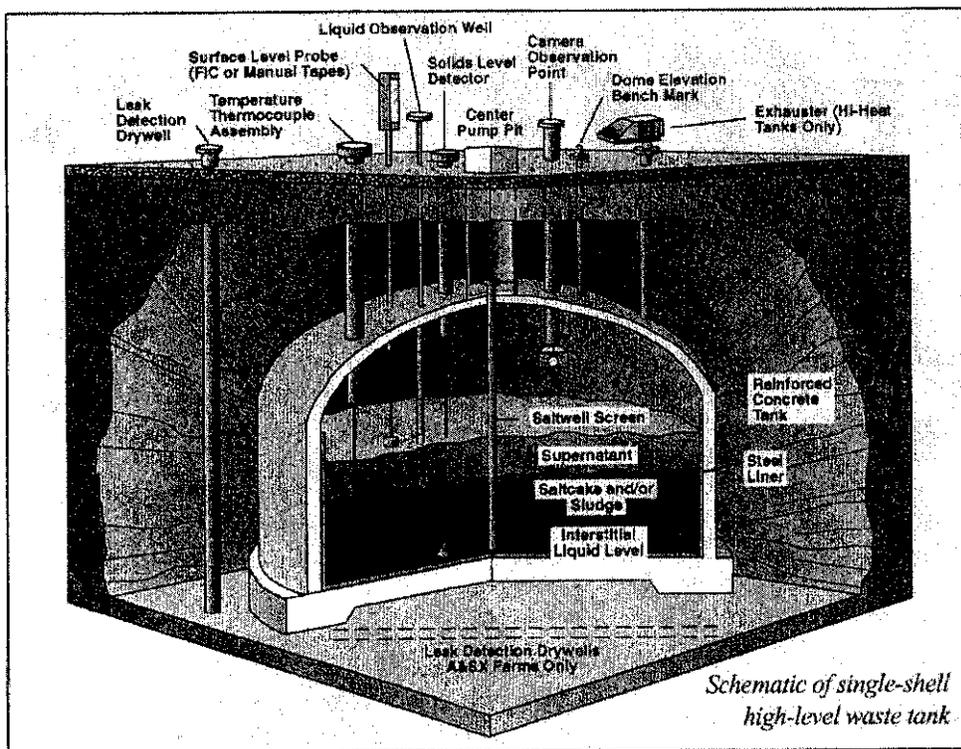
在美国的所有冷战废料中，汉福德地区的废料形式最为多种多样，其所带来的问题也最为难以处理。根据目前的估计，对汉福德地区的储罐废

料进行转移和处理需要花费大约 150 亿美元。尽管这笔费用已经数量惊人，但许多费用还尚未纳入其中，例如储罐本身的停止使用费用、由于直接排放和渗漏而造成的储罐周围污染土壤的处理费用以及污染地下水的治理费用等。这笔费用中也没有考虑上文所述的如果玻璃化技术失败会带来

建议

汉福德储罐项目需要进行彻底的调整。它应该从现行的任意目标改变为更加适合于环境保护、短期和中期废料管理与处理的目标。例如，为了实现临时性废料稳定，能源部应该对废料固化做法——煅烧进行检查，该技术会涉及到废料加热并将之变为粉

末状。煅烧会带来相对稳定的废料形式并可极大地减小废料的体积，因此，更加适合于与玻璃化或者陶瓷固定化一起使用。煅烧矿在储存时并不象



目前的储罐废料形式那样对环境具有非常严重的短期和中期风险。尽管煅烧法具有这些潜在的优势，但能源部及其承包商至今仍未仔细研究使用煅烧技术作为临时方法这一选择方案。相反，他们拒绝使用煅烧技术，声称通过该技术制成的废料形式并不适合于贮藏室处理，这自然是一个不争的事实。

能源与环境研究所的其它建议包括，能源部应比以往任何时候更加仔细地对下列因素进行审查：³

- 接受一种目标，即将所有高放射性废料储罐中的内容当成高放射性废料进行处理；
- 调整地下水模式，以便能反映有关渗带污染的实际数据；
- 引进二种相似的高放射性废料固化计划：1) 研究对高放射性废料进行煅烧的方法，同时研究煅烧矿的陶瓷式固定和玻璃式固定；2)

推行无需煅烧的预处理方法和特殊的玻璃化方法。

能源与环境研究所有关汉福德废料处理的其它建议包括，根据停止使用和除去污染计划来确定现有污染的程度(请见报告)。

¹ 《SX 工场渗漏史分析——历史性渗漏模式》，由斯斯蒂芬·F.阿格纽和罗伯特·A.考宾合著，洛斯阿拉莫斯国家科学实验室化学科学与技术部，LA-UR-96-3537，1998年8月。

² 美国总会计室盖丽·L.琼斯女士在众议院商业委员会负责监督与调查的小组委员会上的证词，《核废料——进程、费用与管理，致能源部汉福德储罐废料项目》，GAO/T-RCED-99-21；(华盛顿，美国GAO，1998年10月8日)。

³ 我们的报告中有一套更加完整、更加详细的建议。

案例研究之二：

铀后废料：TRU 与后果

1970 年之前，遭到钚和其它铀后放射性核素(原子序数大于铀的元素)严重污染的放射性废料绝大部分均被以与“低放射性”放射性废料处理方式相同的方式加以处理，并倾倒在很浅的陆地埋葬场所。从 1970 年

开始，产生了一种新的废料分类——铀后废料(TRU)。铀后废料的定义是：每克铀后元素中的毫微居里大于 10 且半衰期大于 20 年的废料(1984 年放宽至每克 100 毫微居里)。¹铀后废料之所以倍受关注，是因为其半衰期长而且钚 239 等铀后元素会对健康带

来危险。铀后废料被认为危险性非常大，需要在很深的地质贮藏室中进行处理。

使这一情况变得更为复杂的是，能源部武器设备的有些地点在 1970 年之前便自行对铀后废料进行过定义，而这些定义与原子能委员会或能源部随后给出的定义均不相符。有些场所对原子能委员会于 1970 年制定的规则置之不理，继续以掩埋方式或其它方式处置铀后废料。例如，1966 年至 1984 年间，橡树岭地区的铀后废料与水泥搅拌后便被倒入深深的岩层之中（这种做法称为“水力破碎”），结果导致了严重的地下水污染。有些被归类为“可恢复性存储”的铀后废料实际上得到的是不当处理，现已被定名为“埋入地下的废料”，例如橡树岭地区和萨凡纳河地区的废料。规定与做法上的不一致再加上缺乏必要的实施机制使清除工作变得非常复杂化，因为埋藏区内现已有多种铀后废料被混埋在一起。

除此之外，能源部各场所有关埋入地下式铀后废料和铀后污物的体积数据、质量数据和放射性数据等都互不一致，而且总体水平均差。直至今日，能源部有关放射性废料的数据才得以每年汇编到能源部“综合数据库报告”中。²然而，铀后废料数据每年相差之大令人难以置信，而且报告中的数据与其它资料中的数据还相互矛盾重重（详细情况请参见第 30 页）。例如，洛斯·阿拉莫斯对废料

中钚元素的含量便有二种截然不同的估计，能源部总部在其报告“钚：最初 50 年”³中公布的数量为 610 千克，而其它许多来源都公布为 1,375 千克。⁴就我们所知，高达 765 千克的巨额差异至今仍无一个合理的解释，而这些钚足以制造 150 多个核武器。

能源部缺乏用于收集和记录铀后废料数据的标准方法，至今仍无法为上述巨大数量差异提供合理的理由。能源与环境研究所的报告表明，能源部的铀后废料数据存在着不可救药的缺陷，几乎所有场所之间都互不一致，只有爱达荷州国家工程与环境实验室是个例外，该室确已花费一定精力开发基于事实的数据。能源部在进行 5 个月的努力之后，仍无法向能源与环境研究所提供足够的证据，表明能源部或其承包商已使用一些技术指南或质保措施来保证数据的统一性。

对实际记录进行的唯一一次研究（在爱达荷实验室针对铀后废料而进行）估测，铀后放射强度为以前估计值的 9 至 12 倍，而且所含有的铀后放射性核素量为以前估计值的 3 倍⁵（参见第 1 页主文中的讨论部分）。尽管这一发现令人瞠目结舌，但能源部仍然按兵不动或者动之甚微，以期对其它场所所埋的铀后废料数量进行更好的估测或者对其处理这些废料的战略进行重新评估。能源部在能源与环境研究所针对其发布报告后甚至只是承认可能有点问题值得考虑考虑。

根据现有数据，似乎约有三分之

二的废料被埋藏于浅坑和浅沟之中（一般出现在 1970 年的指令结束这一做法之前）。另外三分之一则被保存在“可回收贮藏室”中，绝大多数贮藏于密封式地上设施中。

能源部将其铀后废料管理经费绝大部分花在最不急迫之处——将可回收式贮藏废料送往位于新墨西哥州的废料隔离试验工场（参见第 24 页，“废料隔离试验工场”）。在所有铀后废料中，可回收式贮藏废料所具有的近期和中期风险最小，因为这些废料一般都被监控和贮藏于封闭式设施中，或者正在被向这类设施中转移。新近产生的铀后废料也都得到了监控和可回收式贮藏。废料隔离试验工场无法适应会构成更多问题的废料：埋入地下式铀后废料及与之相关的高度污染土壤。这种废料对许多重要的水资源带来了威胁，包括蛇河平原含水带、哥伦比亚河和塔斯卡卢萨含水带（位于萨凡纳河场正下方）。尽管存在上述许多风险，能源部对埋入地下的铀后废料、铀后污染土壤以及受其威胁的含水层仍然重视不够。

对废料隔离试验工场的贮藏室给予高度重视并不是从环境因素加以考虑的。相反，这是由冷战期间所做的政治和法律承诺所驱动的，特别是对爱达荷州承诺将储存在该州的铀后废料转移到贮藏室中。能源部有关废料隔离试验工场的承诺与其声称的政策——即优先考虑处理和消除“紧急风险”项目——是背道而驰的。⁶从保

护环境和人类健康出发，现阶段最为重要的任务应是保护水资源免受更多污染以及埋入地下的铀后废料与铀后污物的消除与稳定化。

能源部为处理埋入地下的铀后废料而做出的些许努力是远远不够的，而且已被引入歧途。能源部并没有制定出一套综合计划，开始对存在的问题进行仔细定性并进行彻底的技术开发，而是把用于处理埋入地下的铀后废料的那点相对来说非常有限的财力大都白白浪费了。能源部一直在推行原位玻璃化做法，而这种技术是不适当和不合适的。⁷其设在爱达荷国家环境与工程实验室的 9 号坑项目便是一次以“默契”方式进行的建议失误的试验，该项目并未能够在降低埋入地下废料所带来的风险方面取得任何实际进展，相反却导致了费用大量增加、技术失败、争论不休以及时间延迟。

将铀后废料置于很浅的陆地埋藏区的理由在于一种假设，即铀后元素在这种环境下能保持相对稳定。能源部仅仅依靠一些并不反映现场数据的实验室数据和计算机模拟数据便预言钚经过成千上万年才会移动几十米远的距离。然而，铀后元素的迅速移动在好几个场所均已有过记录。1995 年在橡树岭进行的一项研究发现，钼 244 这种铀后元素出现“重要和快速”迁移。⁸1998 年在橡树岭进行的另一项研究表明，污染物质存在“阻滞很小”的快速迁移迹象。⁹爱达荷

实验室在位于埋藏区下方 580 英尺的蛇河平原含水层中发现了另一种铀后元素镅-241。在内华达试验区试验井中进行的测量发现，铯可以而且确实汇集成微小（“胶态”）颗粒，然后“在破裂的火山岩间移动了很大一段距离”。¹⁰对汉福德地区高放射性储罐下方的土壤进行测量显示，铯已经迁移了“远得惊人的距离”，而且在浓度升高后测得的数值深达 100 英尺。

根据对能源部铀后废料管理工作所发现的问题，能源与环境研究所提出如下建议：

1. 能源部应与国会和有关各州合作，立即停止废料隔离试验工场项目以便适应铀后废料管理计划，解决埋入地下的废料问题和被铀后元素污染的土壤问题。对可回收式存储废料的监控工作应继续进行下去。铀后废料和高放射性废料管理工作应合并为同一项目，以便对指定贮藏室处理的废料进行适当处理。尤卡山地区针对高放射性废料的贮藏室项目也应予以撤消，以使有关如何将铀后废料和高放射性废料与人类环境隔离这项科学工作能够以正确的科学为基础。
2. 能源部应立即制定一项计划，与爱达荷实验室一起对埋入地下的铀后废料的体积和活动情况进行估测。也许可以在铯和铀的易损性研究方面为综合努力树立典范（参见第 31 页文章）。
3. 能源部应放弃对目前的铀后废料归类（每克 100 毫微居里）与浓度较低的铀后废料（每克 10 至 100 毫微居里）之间的严格区分，并将与铀后埋藏区有关的所有废料全部当作铀后废料，除非技术上和经济上确有理由可以不这样做。
4. 能源部应对挖掘所有埋入地下的铀后废料及相关土壤并将之与已被归类于可回收存储的铀后废料一起进行可回收存储这一做法进行可行性研究。由于埋入地下的铀后废料对土壤和地下水造成了污染以及铀后放射性核素的半衰期较长，制度上的控制和覆盖是尤为错误的做法。不可能在可能会与铯 239 的半衰期（超过 24,000 年）一样长的期间内保持制度上的控制，覆盖也只能掩盖污染，更本不能保证污染与地下水隔离。
5. 能源部应采取一种技术上更加可行的努力，以研究铀后废料安全回收技术。尤其是要注意那些可能会给工人安全和健康带来影响的严重危害，包括可能埋在某些场所的爆炸性和高毒性材料

¹ 根据核管理委员会的定义，半衰期最短为 5 年。有关正式定义中的异常情况，请参见《科学为民主的行动》第 6 卷第 1 期第 12 页“镅的不寻常个例”部分。

² 1998年12月，能源部解决了一场历时10年、涉及39个公共利益团体的诉讼，诉讼重点是能源部未能发表一份有关环境治理的环境影响报告。诉讼的其中一项成果是达成了一项协定，要求能源部针对在该部各场所贮藏和产生的核废料建立一个有关该部活动的定期更新公共数据库。数据库应包括废料类型、体积、放射强度和运输计划。诉讼的另一项成果是集体原告同意放弃就能源部未能发表有关环境治理的环境影响报告一事起诉能源部的权利。

³ 美能源部《铀：最初50年：1944至1994年美国的铀生产、收购及使用》第82页，(华盛顿：美能源部，1996年2月)。

⁴ 能源部致环境管理办公室(EM-24)珍妮·克里格的备忘录，附件B。作者为负责环境管理的首席助理国务卿帮办、海军上将、USPHS助理军医将军理查德·J.古蒙德和负责国防项目的首席助理国务卿帮办埃弗瑞·H.贝克纳，1996年1月30日。

⁵ 洛克希德马丁公司爱达荷州技术公司，“1952至1983年间INEL RWMC处理区地下埋藏废料中放射性及非放射性污染物详细清单”，INEL-95/0310，修订本第一版(爱达荷福尔斯：爱达荷州国际工程实验室，1995年8月)。

⁶ 环境管理计划对之阐述如下：“目标1：消除和管理紧急风险”。美能源部，“环境管理1996：环境管理项目之进展与计划”，EOC/EM-0317，(华盛顿：能源部环境管理办公室，1996年11月)。另请参见美能源部，“加快清除速度：集中于2006年，讨论草案”，EOC/EM-0237，(能源部环境管理办公室，1997年6月)，第2-2页。

⁷ 就地玻璃化的过程如下：将电极放入四周被材料(石墨与玻璃粉)包围的废料坑内地面中，作为电流的起动机通路。电流经过起动机通路传播至坑中附近的污染土壤内，引起土壤融化。土壤中的放射性核素会被融入熔化的土壤中或者被烧尽，在该区附近放置一个烟罩以便收集气体。玻璃化处理会破坏土壤中的有机毒性物质，并

使放射性核素丧失活动能力。但是，生成的玻璃往往质量不佳，基体中的裂纹可能会导致污染物迅速浸出。

⁸ “第四年度环境恢复监控与评估报告(1995财年)”第4-20页，R.B.克莱普和J.A.瓦茨编辑，DOE/OR/01-1413&D1(橡树岭，橡树岭国家科学实验室环境科学部，ESD出版物4463，1995年9月出版)。

⁹ 约翰·F.麦卡瑟、威廉·E.森福和佩奇·L.斯塔福，“镧族元素野外示踪剂表明，铀后放射性核素借助天然有机物迁移性有所增强”，环境科学与技术，网络版(<http://acsinfo.acs.org>)，ASAP文章，1998年11月11日。

¹⁰ A.B.科斯丁等人“内华达试验区地下水中铀元素的迁移”；戴维·K.史密斯等人“水文资源管理计划与地下试验区可操作单位：1997财年进度报告”第76-92页，UCRL-ID-130793，(加州利弗莫尔：技术信息部，劳伦斯·利弗莫尔国家实验室，1998年5月)。

案例研究三：

弗诺德地区的镭、钷污染废料

弗诺德工地原名“供给材料生产中心”，位于俄亥俄州辛辛那提市西北面大约 20 英里处。该工地的主要任务是生产用于美国核武器项目的铀金属。1952 年至 1989 年间，该工地的 9 个工场加工处理了很多种含有铀元素的材料——例如精矿和循环物料，从而也带来了大量放射性和有毒性废料。这些废料均被倒入坑中或废料堆中，或者存放在储罐或筒仓中。弗诺德工地的生产工作停止于 1989 年 7 月，该工地的全部环境管理活动所需费用估计已达 30 亿至 54 亿美元，而且环境管理活动可能会持续到 2030 年。

有史以来危险性最大的排放是来自于 1、2 号筒仓的氡-222，这二个储罐中装有大量在铀矿石加工处理过程中产生的含有镭-226 元素的废料。3 号筒仓中还装有含镭废料，但浓度不高。官方研究已经注意到，人们担心各个筒仓的结构完整性以及屋顶倒塌的危险。这些担心再加上氡气体散发的威胁使治理这些筒仓相对于保护弗诺德附近社区的健康和减少工

人的辐射量来说变得至关重要。筒仓结构性损失以及仓内储物渗入土壤长

(弗诺德工地)输入材料生产中心。无法看见筒仓，但其位于图片左部边缘靠下处。

期以往也会对该地区的地下水产生威胁。

到目前为止所采取的措施往好处说只做了些减轻工作，往最坏处讲是完全失败，而且由于时间耽搁反而增加了一些风险。例如，1991 年，人们向筒仓内材料的顶部添加了一层粘土，以期减少氡元素的排放量。此举获得了临时性成功，但后来发现粘土并不是一种行之有效的废料覆盖物，排放水平又有所回升。更为甚者，粘土会使清空和停止使用储罐工作变得大为复杂化。我们相信，更好的做法是安装一个抗龙卷风围罩，估计实施起来要花费 500 万美元资金和 10 个月时间。这种做法可以减少短期排

放量，同时又不会使长期治理工作变得复杂化。但是，添加一层粘土从短期来说成本要相对低廉一些。

1998年，能源部提出了另一计划。由于筒仓正在日益损坏，能源部打算建造一些新的储罐，以便将废料向新罐中转移。如果这一计划获得成功，便会形成一种新的“临时性”储存方式，从而可消除短期和中期的大量氡元素释放风险。但是，废料转移从技术上来说是相当困难的，从过去的多次努力中也可以看出这一点，困难在一定程度上来说是由于废料性质而决定的。因此，能源部又在大肆推行另一种未经任何试验的做法，而且没有进行充分的初步准备工作。此外，能源部曾在试验工场项目的废料处理问题上吃过苦头，因此在未经更多技术试验便发起大规模筒仓废料转移项目时更应小心谨慎。（参见主文“纪念主义”一节中的讨论部分，第

7页。）

能源部在1994年12月份的“决策记录”中将筒仓废料“玻璃化”选定为长期治理方案（尽管试验性玻璃化车间构想那时已经正在进行之中）。不幸的是，能源部将“玻璃化”这一术语以二种截然不同的方式加以使用。第一种方式指将相对来说数量较少的放射性原料掺合到大量熔化玻璃中，制造出实实在在的、以放射性材料饰边的玻璃材料。第二种方式指采用大量主要由各种污物组成的放射性废料，将混合物转化成玻璃状物质。在前一种方式中，制造玻璃是很好理解的，只需要开发准备放射性材料并将之与溶化玻璃混合的技术即可（有些情况下，这种技术已经研制出来）。而在后一种方式中，“玻璃”合成无法控制，因此，“玻璃化”技术本身尚待研制。能源部在弗诺德的计划便涉及到后一种方式，即更加捉

对筒仓 1, 2 和 3 放射性含量的估计

仅列出主要放射性核素

平均浓度，每克微微居里

| 放射性核素 | 筒仓 1 (3,240 立方米) | 筒仓 2 (2,845 立方米) | 筒仓 3 (3,890 立方米) |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 铅-210 | 165,000 | 145,000 | 2,620 |
| 钋-210 | 242,000 | 139,000 | (未列) |
| 镭-226 | 391,000 | 195,000 | 2,970 |
| 钷-230 | 60,000 | 48,400 | 51,200 |
| 钍-234 | 800 | 961 | 1,480 |
| 钍-238 | 642 | 912 | 1,500 |

注释：筒仓 1 和 2 两栏分别未包括 357 立方米和 314 立方米的膨润土粘土。膨润土粘土未用于筒仓 3。

资料来源：D. 潘（筒仓项目主管），“可运作单位 4：项目历史与现状陈述”，俄亥俄弗诺德：独立审议小组会议，1996 年 11 月 14 日，第 8 和 11 页。（摘自《容纳冷战垃圾》，第 24 页。）

摸不定的玻璃化方式。(在本文中,我们所使用的“玻璃化”术语是指后一种含义,即将放射性污染物转换为玻璃质材料。)

这一项目彻底失败了,主要原因在于能源部及其承包商 Fluor Daniel Fernal 犯下了严重的技术错误。

尽管筒仓中的废料尚未得到完全定性而崭新的玻璃化技术仍处在计划阶段,但能源部及其承包商却决定边设计边建造,以便“快速进入”试验性工场计划。这种做法导致了非常严重的问题。例如,分包商所交付的熔炉与 Fluor Daniel 弗诺德在建造其它试验性工场时使用的最初设计并不相符。

弗诺德地区出现的技术故障非常糟糕,但管理失误也同样糟糕至极。熔炉中使用的材料——尤其是二硅化钼“起泡器管”——与废料的高铅含量无法相容。结果导致熔炉在试验性工场中的第一试验阶段便中途损坏,而该试验共有二个阶段。这一重大故障之所以值得关注还有更加重要的原因,因为设计人员早在技术审查阶段便已发现会导致熔炉损坏的确切原因,但令人遗憾的是,问题并未得到解决。

费用和进程有所增加

承包商和能源部的失败导致玻璃化试验性工场的费用剧增。1994年2月,试验性工场的费用预计为1,580

万美元,而时至1996年6月,所有试验性工场试验的完成费用预计高达6,600万美元,增加了四倍。至1996年11月为止,已经花费了5,000万美元。1996年12月,在第一阶段试验期间(该试验只涉及到筒仓中废料的非放射性模拟装置)出现的致使熔炉损坏的重大故障使得试验性工场无法胜任未来工作。

如果熔炉尚未损坏,1996年6月估计的6,600万美元费用肯定会被超出,因为准备进行涉及到筒仓内实际放射性废料时可能需要进行重大修改。已经建成的工场无法在不使工人暴露在高放射强度下的情况下处理放射性材料。

由于试验工场设计和建造期间费用不断上升,能源部和 Fluor Daniel 弗诺德开始对全面玻璃化设施的预算进行修改。1996年1月,整个项目的费用预算增至三倍,由9,200万美元上升到3亿美元。1997年4月,Fluor Daniel Fernald 预计总费用大约在3.76亿美元至5.63亿美元之间(该预算涉及到将3号筒仓中废料的处理方法从粘固替换为玻璃化)。此外,预计的完成期限(包括排除污染和停止使用)也已推迟9年,即从2002年推迟到2011年。

由于试验工场项目早期便缺乏技术、管理和资金,所以能源部试图放弃在“决策记录”中选定的玻璃化处理方法。已经有人提议将所有废料或部分废料的处理方法从玻璃化转变为

粘固，尽管对三个筒仓中废料进行玻璃化处理似乎尚无确定的、实质性技术障碍。如果玻璃化能取得成功，便可能会提供更好的废料隔离和更小的最后废料体积。

补救计划之所以会出现多次变化，大部分原因在于一种假定，即变化可以节省费用。但是，能源部既未能将之与替换方案进行适当的比较，也未能充分解释为什么处理费用预算与“决策记录”中提出的数字之间相差如此之巨。

能源与环境研究所认为，能源部应该采取以下措施，以便将弗诺德筒仓中镭和钷污染废料的处理计划纳入正轨：

1. 筒仓的所有治理计划均需以可行的资金和技术为基础。鉴于曾出现过费用预算严重失当和逐步上升现象，再加上该计划预计会涉及上亿美元资金这一事实，在批准费用增加之前应对会计和工程方面进行彻底的独立审查。

2. 应对三个筒仓中的废料进行更为彻底的定性。应该继续研究针对 1 号筒仓和 2 号筒仓废料处理的玻璃化技术，并在一至二年的时间内做到重点突出、目标鲜明。
3. 鉴于能源部对此类技术所存在的问题与困难的评估，能源部不应该仓促采取替换处理方案——例如对 3 号筒仓进行固化处理。玻璃化应该仍被当作重点方案。
4. 最好对玻璃化处理采用模量法进行，这种方法可以带来操作适应性，从而可以处理潜在的异类废料进料问题。
5. 能源部应该更加仔细地考虑在现有的筒仓上方建造一层抗龙卷风顶部并修建一只新储罐，以便证实将废料转移作为现有计划——建造一系列新储罐以便容纳废料——替代方案的可行性。

废料隔离试验工场：并非铀后废料问题的解决方案

美国国家科学院于 50 年代后期提出一项建议，即高放射性废料应该在地质岩系中——例如在深盐层中进行处理。人们从 60 年代开始对各种地区进行勘探，并于 70 年代对新墨西哥州卡尔斯巴德附近地区进行试

验。美国会于 1979 年批准在该地区修建废料隔离试验工场，修建工作于 80 年代得以完成。¹

废料隔离试验工场获准兴建 20 年来，能源部一直在努力尝试启用该设施来处理来自能源部各个场所的一

些铀后废料。然而，废料隔离试验工场作为一种贮藏设施在技术适宜性方面面临着许多非常严厉的批评。²经过几年延迟之后，美环保署已于近日批准废料隔离试验工场接纳铀后废料。但是，废料隔离试验工场至今尚未获准接纳被称之为“混合废料”的废料，根据美国危险废物法“资源保护与恢复法案”之规定，混合废料指铀后废料与化学制品的混合物。³拟将置于废料隔离试验工场中的绝大多数废料都被视为混合性铀后废料。

为了正式启用废料隔离试验工场，能源部决定将 36 罐它认为不是混合性铀后废料的废料置于该贮藏设施中。⁴这种废料为碎片废料，例如使用过的手套和手套箱部件、抹布、塑料以及来自专攻空间计划用放射性同位素热电发生器的洛斯阿拉莫斯国家实验室制造车间的钚-238 包装纸等。能源部声称，就其对热电发生器生产过程中所使用工序的了解，该废料没有任何危害性。但是，能源与环境研究所在对能源部“可接受了解”报告及其支持性材料进行审查后发现，能源部对罐中废料的了解程度并不充分，所以无法声称这种废料不具有任何危害性。

废料资料中不乏错误之处，这不禁使人对能源部对这种废料材料的理解程度产生疑问；除此之外，能源部在对该废料进行技术评估时也有着重大差距。能源与环境研究所分析显示，洛斯阿拉莫斯国家实验室未能适

当考虑某些材料被辐照后会出现的化学变化现象。当塑料、橡胶等材料被辐照后，便会出现这种通称为“辐照分解”或“辐射分解”的现象，从而形成一些新的化合物。这种现象还会造成废料材料中现有的化学物质加速释放(参见第 33 页“亲爱的阿琼”部分)。

此类化学物质以浓度很高的形式存在便可能会导致该废料符合“资源保护与恢复法案”中规定的有关有害废料四种特征(毒性、腐蚀性、可燃性和反应性)中的一个或者多个特征。例如，氯化氢的存在便会导致废料具有相当强的腐蚀性。因此，尽管该废料在最初生成时可能并没有什么危害性，但贮藏过程中的辐照现象可能会使之变得很具危险性。能源与环境研究所得出的结论是，洛斯阿拉莫斯国家实验室钚-238 处理程序产生的某些废料极有可能符合“资源保护与恢复法案”中对危险性废料所做的定义，而废料隔离试验工场仍未获得贮藏这些废料的许可。

新墨西哥州环境局——在确定是否符合“资源保护与恢复法案”有关规定方面具有权威性——在对能源部提交的材料(以及能源与环境研究所准备的材料)进行审查后决定责成洛斯阿拉莫斯国家实验室对计划放置到废料隔离试验工场中的废料进取取样，以便确信该废料可被归类为无危险性废料。尽管新墨西哥州环境局已经批准了洛斯阿拉莫斯国家实验室的

“证实性取样与分析计划”以及有关分析结果，但能源与环境研究所仍然坚信，该取样不足以确定此类废料是否具有实际危险性。在其它一些问题当中，能源部未能进行一些必要的试验，以便确定苯、酮、氯乙烯或氯化氢这四种被能源与环境研究所认为需要潜在担心的化合物的浓度是否高于“资源保护与恢复法案”中规定的废料危险性标准。鉴于废料的高度多变性、获取代表性试样的困难性以及某些废料符合“资源保护与恢复法案”中规定的危险性废料标准这一强烈可能性，更加谨慎的做法应该是假定存有疑问的所有罐中废料都具有危险性。

这一问题的意义远远超出了最初的那 36 罐碎片性废料。即使获得了“资源保护与恢复法案”的许可，废料隔离试验工场也不能接受腐蚀性、易燃性或反应性废料，因为废料隔离试验工场废料接受标准已将这些废料排除在外。目前尚无法了解到底有多少种铀后废料因为在贮藏期间具有腐蚀性、可燃性和反应性而失去落户于废料隔离试验工场的资格。即使上述问题均得以解决而且废料隔离试验工场得以启用，也无法处理大量埋入地下式铀后废料和铀后废物，因为它们给环境带来的危险要比可回收式贮藏的铀后废料大得多。首先需要考虑的应该是降低来自于埋入地下的铀后废

料和铀后废料污染土壤的风险。

能源部急于启用废料隔离试验工场与其建在尤卡山的高放射性废料贮藏项目有许多相似之处。这二个项目在技术上都存在一定缺陷，因此都应放弃。现在承认这些项目存在很大缺陷要比主要出于政治时间表考虑而将废料仓促置于其中要好得多。

¹ “废料隔离试验工场情况说明书”，美能源部国家铀后废料计划卡尔斯巴德地区办公室，网址：
www.wipp.carlsbad.nm.us/fctsheet/wipback.htm

² 请参见能源与环境研究所 1992 年报告“高标准美元、低标准理性及容纳冷战垃圾”。另请参见 SDA 第 1 期第 6 卷第 13 页。上述材料均可向能源与环境研究所索要。从我们的网址 www.IEER.org 上也可以查阅部分内容。

³ 放射性废料规定于“原子能法案”中；而危险性废料由“资源保护与恢复法案”加以规范。如果废料中含有“资源保护与恢复法案”中规定的化合物或者废料符合“资源保护与恢复法案”中规定的四项危险性废料特征——有毒性、腐蚀性、可燃性和反应性——之一，该废料即被视为“危险性”废料。含有放射性成份的危险废料被称为“混合废料”，该废料因为属于危险性废料而由“资源保护与恢复法案”规范。

⁴ 最初的 36 罐废料被重新包装并拆分为 116 罐，以便满足废料的运输要求。但是，为了简单起见，我们在本文中将其统称为最初的 36 罐（废料）。

商用与军用核废料

相当一部分核废料的数据尚无法确定或者无法获得，例如铀矿废料便没有非常可信的全面数据，尽管残缺不全的数据表明，该废料在重量或体积上与轧尾废料不相上下。人们一般认为，尾矿和矿山废料的单位重量放射强度与轧尾废料相比要低得多。

在美国因为商业核发电而产生的铀矿废料和轧尾废料比表中所示数量

要高得多。这是因为，美国电厂中使用的绝大部分铀都是从其它国家进口的（近年来进口量高达百分之八十至九十）。因此，美国核电厂对环境的影响远远超出美国疆界范围。加拿大、澳大利亚以及前苏联诸国都是美国的主要供应国。铀后废料主要产生于铀分离（再处理）以及将分离出来的铀加工或制造成核武器或者商业产品，能源部的铀后废料则主要来源于

核废料，1996

| | 开采 ^a | 碾磨 | 低级 | 铀后废料 | 高级 | 乏燃料 | |
|-------------|-----------------|----------------------------|---------------------------|--------------|--------------------|----------------|---------------|
| 重量/数额 | 核武器 | ~100 百万 MT | 100 百万 MT | 3 百万立方米 | >200,000 立方米 | 345,000 立方米 | 2,483MT |
| | 商用 | ~130 百万 ^b MT | 130 百万 ^b MT | 1.8 百万立方米 | 不详 | 2,000 立方米 | 34,300MT |
| 放射性 (居里) | 核武器 | 10,000 ^c | 100,000 | >12.1 百万 | >3 百万 ^d | 880 百万 | 不详 |
| | 商用 | 10,000 ^c | ~100,000 | >5.1 百万 | 不详 | 23.6 百万 | ~30,000 百万 |

资料来源:

军事数字：斯蒂芬·I. 舒瓦茨编：《原子审计》（华盛顿：布鲁金斯学会出版社，1998年），第375页，表6-1。

其他数据从“汇编资料基础：美国乏燃料和放射性废物存量，项目和特征”（能源部/RW-006 Rev. 12和Rev. 13，表0.3）和《容纳冷战垃圾》中摘取或估计出。

注释:

数据近似与每一项中重要地点的数字。“>”符号意思是“大于”。MT是公吨。

- 开采时废料的重量假定为约等于碾磨尾砂的重量。
- 商业开采和碾磨废料远多于表中所示。见主文。
- 开采废料的特殊活性假定为碾磨废料的十分之一。
- 对于铀后废料，放射性的数据结合了对爱达荷工厂铀后废料放射性的估计以及能源捕对可逆转储存废料的估计。

核武器生产。但是，也有一部分能源部高量放射性废料来源于为了商业目的而进行的钚-238 分离(绝大部为美国国家航空与航天局的放射性同位素热电发生器)。纽约西谷地区商业核燃料后处理厂运作期间(1966 年至 1972 年)所产生的钚后废料尚没有数据来源。

有关因为核武器生产而产生的钚后废料的官方数据无法令人信服，数据本身也矛盾重重。能源部数据库表明，埋入地下式钚后废料的总放射强

度超过 14 万居里。然而，对埋入地下式钚后废料进行的、从技术上讲相当合理的调查得出的结论是，仅爱达荷州埋藏的钚后废料的放射强度便高达 64 万至 90 万居里。因此，能源部有关埋入地下式钚后废料的放射强度大于 14 万居里确实是让人误解的一个数据。能源部宣称的按可回收方式贮藏的钚后废料为 260 万居里，我们为爱达荷州埋入地下式废料又增加了 60 万居里，这样预计数据便超过 300 万居里(精确到一位有效数字)。

萨凡纳河地区之火、水泥与钚饰边溶剂

在萨凡纳河地区，由于重新处理活动而产生的使用过溶剂大约为 50 万加仑，这些溶剂由煤油和三丁基磷酸盐构成，而且已被钚污染。其中 37 万加仑于 50 年代和 60 年代被露天有烟焚烧。1975 年，即对钚后废料提出可挽救性储存要求 5 年之后，该地区报告称，共有 15 万加仑用过的溶剂储存在十几个储罐中。根据该地区提供的数字，钚后含量好象为每克 150 毫微居里。该地区目前报告称，大约 4 万加仑用过的溶剂储存在新储罐中，但对 11 万加仑的差额未做任何明确的说明。其中一些可能已于 70 年代末或 80 年代初燃烧于焚化炉中。

作为对萨凡纳河地区重新处理活

动给健康带来的影响进行评估的一部分，需要对高度钚污染废料露天焚烧所产生的辐射剂量进行评估。

曾经用于储存此类溶剂的一些储罐已被清空，方式是往储罐中喷水以便将罐中溶剂排出。有些储罐已被“封闭”，即往储罐中浇注水泥然后将之留放在萨凡纳地区的新埋藏场地。在封闭之前，并未对储罐中的最终放射性核素含量进行测定。能源部正在对旧埋藏场地中 22 个储罐内的残余已用过溶剂进行定性，并计划对这些储罐同样进行“封闭”处理。

在储罐中仍然装有含有钚元素的废料时便向罐中浇注水泥是非常不合宜的。如果储罐的完整性遭到破坏，这种做法便会带来一种令人非常烦

恼、非常难以处理的问题，而储罐在其所容纳的残余钚得以分解之前便会损坏是几乎难以避免的。将储罐水泥化当作停止使用的手段便是能源部的

现今“解决方案”为日后清除问题埋下隐患的一个例证，这种处理方法与以前处理不当为今天带来严重问题如出一辙。

废 料 清 除 与 处 理 建 议

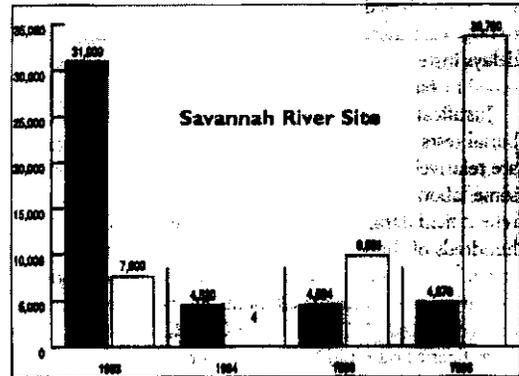
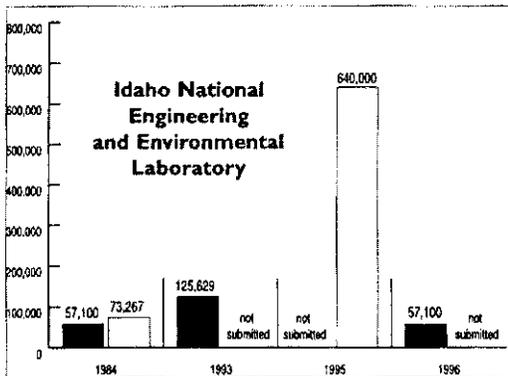
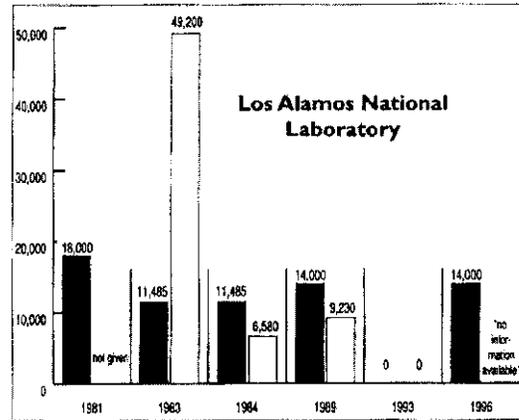
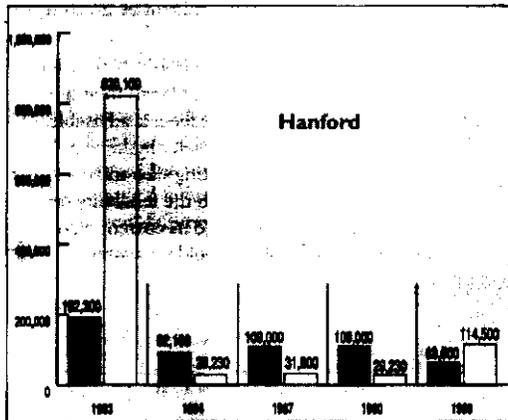
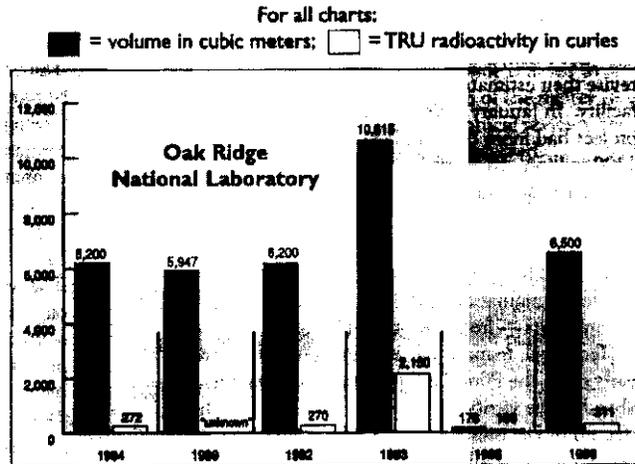
1. 根据寿命与放射性比度，创建一种全新的、合理的放射性废料归类环境保护体制，以便类似危险可以得到可比性处理；
2. 做好废料管理与环境补救间的协调工作，从而降低短期风险并将长期风险降到最小限度；
3. 建立一种科学上和财政上均可解释的体制结构，结构重点应明确放在健康和环境保护上，而不是放在武器生产或冷战技术维持上；
4. 停止唯政治是图的尤卡山项目和废料隔离试验工场贮藏室项目，并形成一项有关强放射性废料长期处理的科学规划；
5. 为蒙受残余污染的社区提供资金和技术支持，使之能够监控环境并享有知情权；
6. 创建一种严格、公开、真正独立的成败评估程序；
7. 对非放射性有毒废料成分进行管理，同时并不对放射性成分的管理产生严重影响；
8. 降低场外居民和工人的风险，同时将后代面临的风险降到最低限度；
9. 如果没有优秀的补救技术可以使用，应采取临时性措施(如限制进入有关场所)、投入力量进行研究与开发并制定有关规定，以便这些场所和资源日后能够渐渐地回归到通用用途；
10. 公开利用纳税人收入获得的、与健康与环境有关的所有信息，包括承包商和分包商获得和 / 或掌握的信息；并为此类信息创设明确的公有权；
11. 向承包商施以严格的财政责任制，并为项目预算和巨额预算增加设立以工程学为基础的审查方法；
12. 制定国家清除标准，并允许各州、地方政府和印第安部落适用更为严格的清除标准。

注视跳跃式数据：

能源部对埋入地下式铀后废料的估计变化无常

(所有图表资料来源：“包容冷战垃圾”
第2章)

我们通过对能源部有关埋入地下式铀后废料的数据进行审查发现，许多场所在埋入地下式铀后废料的体积、放射强度及质量等数值方面通常因年而异，而且往往没有合理的解释。总的来说，这些变化并不表示已埋入新的废料或者业已埋入的废料已被掘出，相反原因似乎在于以下几个方面：1) 将每克含有 10 至 100 毫微居里的废料从铀后废料重新归类为“低放射性”废料；2) 认识到这样一种事实，即有些“按可回收要求贮藏”的废料实际上并不易于回收；3) 对旧的记录进行重新审查；4) 误差。



能源部与能源与环境研究所就清除问题展开对话

1997年10月，能源与环境研究所针对能源部的环境管理计划发表了一份题为“包容冷战垃圾：调整美核武器设备的环境管理”的详细报告。时任能源部负责环境管理的助理部长埃尔文·阿尔姆指令对报告中的分析、发现和建议进行彻底审查。该审查原计划于30天内结束，但最后完成时却耗时5个多月并牵涉到能源部30名工作人员。

能源部对此次审查工作所采取的严肃态度与其以往的工作作风大相径庭。能源部在此次审查中着手解决了能源与环境研究所分析中提出的许多实质性问题。根据前助理部长阿尔·阿尔姆和代理助理部长杰姆·欧文道夫的指示，负责环境管理的工作人员进行了严肃而协力的审查工作，能源与环境研究所工作人员也抱着同样的精神与之共同奋战。能源部的特别审查工作由战略计划与分析办公室的杰姆·沃纳和麦特·赞科维奇负责协调与组织。

审查结束后，能源部承认了许多问题，并承诺针对能源与环境研究所报告全部或部分采用三项非常重大的努力：

1. 能源部宣布对埋入地下的铀后废料的管理工作情况进行检查。但是，能源部并未宣布如何让公众介入检查，也未为检查工作设置

最后期限。1998年3月，能源与环境研究所建议能源部发布技术指导，于30天内完成铀后废料数据编制工作，并于12个月内完成检查工作。能源部告知能源与环境研究所自己正在制作一份有关埋入地下的铀后废料的新数据。能源部总部已要求工作人员对“包容冷战垃圾”中详细阐述的数据质量问题予以高度重视，并要求对这些问题采取补救措施。但是，能源部至今尚未发布任何详细的技术指导，以确保该数据的技术完整性。迄今为止，爱达荷州实验室以外的其它埋入地下式铀后废料数据仍然非常无法让人置信。此外，能源部仍在将废料隔离试验工场作为铀后废料问题的解决方案（参见第16页“铀后废料案例研究”部分）。就我们目前所知，尚未对铀后废料管理进行任何实质性检查。

2. 能源部正在付出更大努力为汉福德地区的渗带补救工作制定计划。最近公布的一些成果——例如对SX储罐场泄漏问题进行的深入研究（参见第11“汉福德案例研究”部分）——表明，该问题比1996年理解的情况要糟糕得多，能源部于当年完成了有关储罐中高放射性废料补救问题的

“环境影响报告”。

3. 能源部同意采取措施，对所有重大项目独立审查。

能源部一改往日的工作作风，转而以一种富有建设性的精神对待外界批评，并做出了一些具体的承诺。但是，我们发现，“包容冷战垃圾”发表一年多来，能源部的后续措施仍无法尽如人意。首先，能源部虽然进行了为期5个月的审查，但未能解决报告中提出的一些严重问题；其次，能源部在履行诺言方面也让人失望。

能源部未能解决的一些重大问题包括：

- 有关能源部铀后废料管理战略的根本性问题：埋入地下式铀后废料和污物的总量与通过石板存储以便在废料隔离试验工场贮藏室中进行处理的可重新获得式存储相比，数量更多而且对环境的短期和中期威胁更大。
- 与废料分类和处理有关的一些问题：这些问题包括能源与环境研究所提出的建议，即汉福德地区高放射性储罐中的所有废料均应作为高放射性废料处理，而不应计划将大量废料作为“低放射性”废料加以现场处理。能源与环境研究所对以此种方式处理汉福德地区高放射性废料所需费用提出了估算，但能源部未做任何反应。能源部并未考虑能源与环境研究所提出的能源部应该研究煅烧方

法以便将之作为汉福德地区储罐废料临时性处理措施这一建议，原因显然在于根本没有承包商在方案菜单中提供过此种选择。相反，能源部继续坚持将煅烧当成最后步骤，继而放弃了这一想法。能源部以这种方式处理煅烧问题无异于竖起了一名假想对手，因为没有技术文献认为煅烧本身可以形成适于贮藏室处理的最终废料形式。尽管能源部未能考虑能源与环境研究所提出的费用估算，但它却抱定这样一种信念，即直接产生最终废料形式能更加节约成本。能源部还未能估算这种做法可能出现失败的代价或风险，这种做法将赌注全部押在大规模使用最终废料形式这种技术上，而这种技术在汉福德储罐这样困难和复杂的废料上至今连试都未试过！这是能源部在其最为重要的清除任务中犯下的非常严重的内部技术和判断错误。

- 有关贮藏室计划的建议：能源与环境研究所建议，暂停政治上有利的尤卡山计划和废料隔离试验工场计划，取而代之以一种适应于高放射性废料长期管理并在科学上可行的计划。这包括地质储藏研究、海底下处理研究以及与能够包容放射现象几百万年的天然材料类似的工程材料研究。能源部对这一全面调整建议置之不理。

能源部已经表示愿意继续与能源与环境研究所合作，以期能在完善环境管理项目中获得能源与环境研究所的帮助。能源与环境研究所将一如既往地 向能源部提供自己的观点，并继续承诺谋求与能源部进行富有建设性的对话。到目前为止，能源部中开始出现的唯一重大计划性变化是更加重视汉福德地区渗带的污染问题，这其中也凝聚着能源与环境研究所的一份辛劳。这一项目对保护流经该地区的哥伦比亚河是非常必要的。我们珍视

并认识到在这一重要项目中出现的巨大、积极变化。然而，在未经重大独立审查的情况下便继续履行价值高达 69 亿美元的汉福德储罐废料补救“默契”合同(参见主文)，难免会存在重大延期风险、成本过高风险、出现技术及法律争议风险以及失败风险。



亲爱的阿琼：

请问何为辐射分解？它与核废料有什么关系？

温伯尼市的维尔德

亲爱的维尔德：

在核企业之外的每个人眼里，辐射分解指一种效率非常高的“除发”技术，即端坐在一台音量巨大的无线电旁边，让汗毛飘离您的身体。这一名词于 50 年代被“无线电城音乐厅”的舞女们推而广之。

在核企业中，由于员工毛发相对稀少，辐射分解便有了其它含义：指引起放射强度减轻和化合物变化的生

产过程。

辐射分解是造成一些废料处理问题的主要原因，尤其是与液体放射性废料以及含有放射性材料和非放射性化合物混合物型废料有关的问题。由于辐射作用，废料中的化合物会随着时间的推移而不断分解，除非这些化合物的形式非常稳定。分解后的产物又会互相并与已经存在的化合物产生新的化学反应。这些过程使得废料的化学构成估计工作绝非易事。由于水与有机化合物之间的辐射分解作用，它们还会频繁产生氢气及其它有毒性、易燃性化合物。这种辐射分解作用是汉福德地区和萨凡纳河地区一些强放射性废料存在火灾和 / 或爆炸风险的主要原因之一。由于辐射分解而

RADIOLYSIS

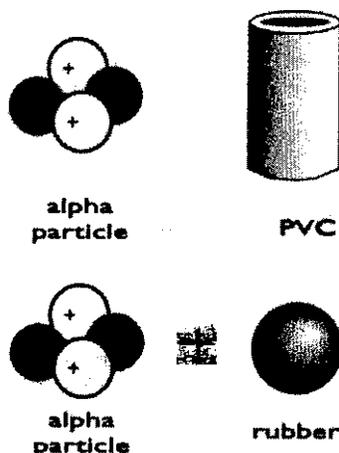
形成的危险性化合物增加已对 Rocky

Flats 地区的钚储存以及其它地区的铀后废料产生影响。

其中一个问题在于塑料因为辐射分

解而分解为易燃性和有毒性气体。辐射分解实际上可以使得废料随着时间的推移而更具危险性，或者可以使本来无害的废料演变为有害废料。除此之外，取决于放射性核素(和衰变产物)的半衰期长短，该过程可能持续很长一短时间。

氯乙烯和聚氯乙烯——一种用于制作塑料容器、管道和车辆仪表板(及铀后废料包装)的材料——所经受的化学变化便是多种化合物生产导致辐射分解的一个示例。当聚氯乙烯材料被阿尔法粒子辐照时，便会散发出含有苯、酮和氯化氢分子的气体。这种辐射分解会将废料从没有任何危险的废料转化为美国危险废料法“资源保持与恢复法案”中规定的危险性废料(参见从第 24 页开始的“废料隔离试验工场”部分)。废料之所以被归类为“资源保持与恢复法案”中所称的



Benzene C_6H_6 (toxic, reactive)
Acetone CH_3COCH_3 (ignitable)
Hydrogen Chloride HCl (corrosive)
Hydrogen H_2 (ignitable)
Vinyl Chloride $CH_2=CHCl$ (toxic)
...plus others

Acetone CH_3COCH_3 (ignitable)
Hydrogen Chloride HCl (corrosive)
Hydrogen H_2 (ignitable)
...plus others

Alpha irradiation of PVC plastic and rubber materials produces a number of compounds which have the potential to convert initially non-RCRA waste into RCRA waste.

“危险性”废料，是由生成废料的特定工序或者化合物决定的，或者因为这些废料符合以下四个“危险性废料”定性中的一个，即有毒性、易燃性、腐蚀性和反应性。

如果“资源保持与恢复法案”中规定的辐射分解生成物的浓度符合上述四种定性中的一个或几个，便会形成联邦法律中规定的废料危险性。这就意味着该废料的管理和处理必需获得“资源保持与恢复法案”的许可。

“资源保持与恢复法案”许可与其它许可以及与废料放射性强度有关的废料包装要求构成不可分割的组成部分。

希思汉姆·泽里夫(代笔)

It pays to increase your jargon power with
Dr. Egghead

1. 铀后废料 (TRU):

- a. 在天王星之外积聚的废料;
- b. 遭电影“真实的砂粒”的制片人拒绝的电影名称;
- c. 跨国公司“Trash R Us”的最热销产品;
- d. Transuranic waste(铀后废料)一词的缩写。该类放射性废料每克含有放射阿尔法的铀后放射性核素 100 毫微居里以上, 半衰期超过 20 年。

2. 渗带:

- a. Darth Vader 开始逃避空间的地方;
- b. “非常活跃的安全与能源部”总部内的高度污染区;
- c. 结束带与零场地线之间的区域, 裁判人员在该区域内无法分辨是否触地;
- d. 地下水位之上的土壤层, 该层污染可对地下水资源以及受地下水露头部分影响的地表水资源构成威胁。

3. 辐射分解物:

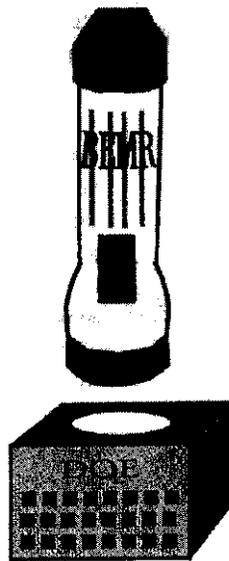
- a. 生产电子无线电产品的索尼公司的一个崭新部门;
- b. 带有许多指示灯和按钮的一行无线电产品的商标名称;
- c. “国家公共广播电台”在筹款

周期间提供的奖赏;

- d. 由于化合物辐射作用而产生的化学分解物。(由于水的分解作用而产生的氢气气体便是一例)

4. BEMR:

- a. 向能源部射出一束光线以期查看部中是否有人的设备;
- b. 总是面带明朗微笑者;
- c. 贪婪主妇赐予厨房日光工作台面最佳使用者的奖赏;
- d. 初始环境管理报告词组的缩写。能源部共发表过二个版本, 表明能源部为清除要求与费用进行综合评估时所做出的最初努力。这一有用文件的制作与更新结束于 1996 年。



5. 盐饼:

- a. 北欧海盗的丰盛主食;
- b. 印度独立运动的正式甜点;
- c. 字译时拼写不慎混淆的甜美法式糕点;
- d. 自浓缩式液体放射性废料中结晶出的化合物, 形成一堆盐类。盐饼是汉福德地区和萨凡纳河地区强放射性废料储罐中聚集的诸多废料的一种形式。

答案: 1) d; 2) d; 3) d; 4) d; 5) d



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



秃头博士的信犬 Gamma 正在洛斯阿拉莫斯国家实验室内到处窥视，无意中发现了被钚-238 污染的塑料废料。Gamma 便想弄清废料是否与“资源保持与恢复法案”中规定的苯的毒性标准相符。于是它称了一下塑料材料的重量，结果为 2 千克。对该材料进行化验发现，其中含有钚-238 元素共 0.4 克。Gamma 稍做嗅闻后便发现以下信息：

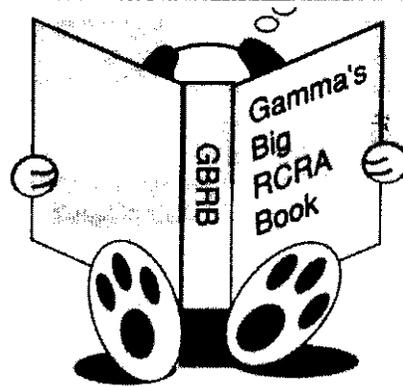
- 每克钚-238 元素中每秒共有 6.4×10^{11} 次衰变；
- 每次衰变都会散发能量约为 5.6 兆电子伏的阿尔法粒子；
- 沉积于塑料材料中的每兆电子伏可产生 6.2 个苯分子；
- 每个苯分子重约 1.29×10^{-19} 毫克。

您能帮助 Gamma 计算出塑料辐射分解最多能产生多少苯元素吗？Gamma 决定将这一问题分解为几个小问题：

1. 0.4 克钚-238 元素中每秒有多少次衰变？

2. 全年共出现多少次衰变？

3. 一年之中共可放射出多少阿尔法粒子能量(单位：兆电子伏)？



4. 如果所有阿尔法粒子能量均被沉积到塑料中，那么一年可产生多少苯分子？

5. 塑料中产生的苯元素总重量是多少？

6. 塑料废料中苯元素的浓度是多少？(表述答案时，请以毫克/千克为单位)

在您忙于计算时，Gamma 也正在忙于查阅“资源保持与恢复法案”中毒性定性部分规定的苯浓度界限。根据“资源保持与恢复法案”中的有关规定，如果 1 千克废料沥出物中的苯元素含量超过 10 毫克，则该废料应被视为危险性废料。如果产生的所有苯元素均残存为废料的一部分并最终成为沥出物，根据“资源保持与恢复法案”中的有关规定，该塑料应被视为危险性废料吗？