

# 能 源 与 安 全

能源与环境研究所出版·美国华盛顿·二〇〇二年第二期·总第21期

## 制定清洁标准以保护子孙后代

——自耕农方案的科学基础及其在估算落基平原放射性核素土壤行动等级中的运用

阿琼·麦克贾尼  
施里拉姆·葛帕尔

大范围的土地和大面积的水域仍然受到来自核武器设施运行中产生的危险的长周期放射性和非放射性污染物的沾染。这已给创造了这些设施的几代人带来了一个足够严峻的问题。但是，我们怎样才能够确保未来几千年后在这些土地、水域和生态系统中生活的子孙后代的健康呢？

这一问题的性质要求对科学方法的选择给予最大的关注，这些科学方



箭头所示为靠近落基平原环境技术场的郊区延伸带。这一以前的核武器生产厂址位于科罗拉多州丹佛市西北约15英里处，而丹佛是个快速发展的都市地区。在该厂址方圆50英里的半径内生活着超过200万的人口，其中30万生活在落基平原流域。

法将被用来评估子孙后代的健康问题以确保结果良好并促使投资有效率。任何方法在科学上的优点都必须考虑这一历史经验，即公共事业对于沾染的记忆往往在几十年的时间里消褪了，法律变化了，就象观念发生了变化一样。对于特殊材料以及所涉各种材料的结合物的危险性评估也变化了。在过去的几十年里，官方评估中的这一趋势已推断出，每单位（剂量）辐射的放射性比最初相信的更危险。总体而言，环境保护的标准已经更加

在	本	期	内
自耕农方案	.....	.....	9
答疑：关于镭	.....	.....	18
原子迷宫	.....	.....	20

严格，而且公众提高了对这些保护的支持。

美国能源部正致力于给清洁其位于科罗拉多州丹佛市附近的落基平原核武器厂制定标准，这可能导致史无前例程度的钚被留置在该处。美国能源部的方法可能在将来以各种方式影响人们（的生活），例如通过在风暴中吸入重新扬起的钚或其它放射性微粒，或者通过使用受沾染的水，地表中的径流以及雨水渗入地下水而造成的污染物转移都可能污染这些水。

能源与环境研究所受委托向科罗拉多的伯尔德落基山和平与正义中心提供技术协助，以此团队努力来保证落基平原达到更具保护性的清洁水平。作为这一工作的组成部分，能源与环境研究所准备了该报告：“制定清洁标准以保护子孙后代：自耕农方案的科学基础及其在估算落基平原放射性核素土壤行动等级中的运用（2001年12月）”。<sup>1</sup>本文基于以上报告写成。参考资料可见于原报告，它可通过进入能源与环境研究所的网页 [www.ieer.org/reports/rocky/toc.html](http://www.ieer.org/reports/rocky/toc.html) 获得。

## 自耕农方法

在长远的未来保护人民的方法必须基于这一假设，即当前发挥效力的任何机制性控制都会随时间而消褪，机制性记忆的持久性比不上某些污染物的危险的生命周期，而人们可能在不知受污染的情况下生活在这片土地上，并耕种它和使用它的水源。如果可以设计出保护自给自足的农民的清

## 《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](mailto:ieer@ieer.org)

万维网地址：<http://www.ieer.org>

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

### 能源与环境研究所成员：

所长：阿琼·麦克贾尼，博士

全球对外协调员：米切尔·博伊德

图书馆员：洛伊丝·查墨斯

成员科学家：斯里拉姆·高帕尔

笔记本员：戴安娜·科恩

对外协调员：美国：丽莎·莱德维奇

项目科学家：安妮·麦克贾尼

行政助理：贝特西·瑟洛-希尔兹

### 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, Colombe Foundation, Ford Foundation, HKH Foundation, John D. and Catherine T. MacArthur Foundation, John Merck Fund, Stewart R. Mott Charitable Trust, New-Land Foundation, Ploughshares Fund, Public Welfare Foundation, Rockefeller Financial Service, Town Creek Foundation 以及 Turner Foundation。

制作：Cutting Edge Graphics

编辑：丽莎·莱德维奇

本期英文版于2002年5月出版

洁或废物管理项目，那么就有理由得出结论，其他人群也将得到保护。这就是“自耕农”方法制定辐射清洁标准的基础。

这一总体方法由科学咨询团体以及政府机构开发出来，代表性的有：国际辐射防护委员会和美国原子能委员会及其继任机构——美国能源部等。美国能源部于 20 世纪 80 年代使用这一方法来评估其在汉福德厂址的高级废物管理方案。

为制定标准而使用自耕农方法具有科学意义，因为它使得大量（尽管不是全部）不确定因素降到最低，而这些不确定因素关系到在长远未来对污染影响人类健康所做的估算。有关自耕农方法发展、运用及其科学基础的更多信息，见第 9-11 页。

自耕农方法不仅是在一般意义上的合理方案，而且适合为落基平原厂址制定清洁标准。由于丹佛-伯尔德走廊是美国发展最快的地区之一，开发闲置空间的压力很大。而且，农场、商业和住户座落在该厂址的边界地带。自耕农方案良好的科学基础使其丝毫不受个别场地可能被计划用作某些临时使用的影响。

当前，有些官方的放射性废物管理和受沾染厂址清洁方案与自耕农方案相违背。那些官方方案声称，如果防止了公众接近受沾染厂址，就不需要建立保守的清洁标准，因为没有人

会受到辐射。但是，假定机制性控制和公众记忆会持续到足够久远，以至于防止对未来公众的不必要辐射，是不现实的。所涉及沾染物中的一些有几千年的半衰期。

### 落基平原放射性核素土壤行动等级<sup>2</sup>

从 1952 年直至 1989 年，落基平原厂为美国核武器生产钚芯。日常运作加上事故使周围的水源和土壤受到钚、镅和其它放射性核素以及非放射性有毒物质的沾染。现在，落基平原在美国能源部清洁和关闭一些核武器生产厂址的计划中处于“旗舰”地位。落基平原被责成于 2006 年关闭。

如果可以设计出  
保护自给自足的农民的  
清洁或废物管理项目，  
那么就有理由得出结论：  
其他人群也将得到保护。

钚（与附生的镅-241 相伴随）是落基平原主要关注的沾染物。为了对付土壤中的钚，美国能源部与规则制定者为该厂址制定了放射性核素土壤行动等级。一个放射性核素土壤行动等级意味着土壤中可能留有多少放射性物质。当土壤中的放射性物质超过一个放射性核素土壤行动等级时，必须采取行动以消除或抑制这些物质。沾染物浓度低于放射性核素土壤行动等级时不需要采取补救行动。有关落基平原清洁的其它单项决定都不可能比设定多少钚可以被留在土壤中对人体健康和环境具有更重要的长远影响了。

1996 年，联邦和州政府的机构建议，适用于落基平原（土壤中残留）钚的放射性核素土壤行动等级是每克

土壤 651 微微居。该等级高于其它地区的任何其它受钚沾染区域所采用的行动等级。此外，还存在着附生放射性核素，主要是镅-241。（美国能源部及其厂址所假设或测量的土壤中残留放射性核素各种等级的例子以及使用各种假设方案据估计所导致的剂量，见第 7 页上的表格。）

该放射性核素土壤行动等级遭到公众的反对，美国能源部最终同意出资就该问题进行独立的科学审议。该审议由风险评估公司完成，其报告可在线获得。网址是：[www.racteam.com/Experience/Projects/RSALS.htm](http://www.racteam.com/Experience/Projects/RSALS.htm)。

风险评估公司的小组所建议的放射性核素土壤行动等级是每克约 35 微微居钚，外加特定比率的附生镅-241。在评估落基平原的放射性核素土壤行动等级中，风险评估公司使用“自给牧民方案”作为“自耕农方案”合理的本土变形。风险评估公司的结论中采用的每年剂量限制为 15 毫雷（相当于整个人体的有效剂量）。

风险评估公司在分析中承认没有具体考虑地下水中的剂量问题。但是，土壤中的沾染有可能潜在地使水源受到沾染，而这些水源可能最终被用于饮用或灌溉。考虑到政府最近关于土壤中钚转移率的研究结果，风险评估公司在其研究中的假设似乎有道理，但是，如果厂址条件的发展使钚转移的速度比风险评估公司所假设的高出许多，那么该分析就可能低估通过地下水途径的剂量。<sup>3</sup>

负责落基平原清洁工作的机构从未正式对此建议做出反应，却代之以

进行自己的审议。这一现象提出了这种可能性，即独自审议的结论可能或明或暗地被加以抵制，而可能再次提出宽松的放射性核素土壤行动等级。这种情况由于宣布厂址清洁工作完成的目标日期被定在 2006 年 12 月 15 日而尤其可能出现。

合同商凯瑟-希尔(Kaiser-Hill)公司的约 340 亿美元的“标的费”因要达到这一期限而处于危险中。项目每超过目标期限一天，该报酬就缩水一点，直至到达某一最低下限。相反，如果项目提前并以低于目标成本的代价完成，报酬将得以提高，最高达 4.6 亿美元。<sup>4</sup>由于在初始时未对放射性核素土壤行动等级做出界定，合同商就具有寻求较宽松规则的内在动机。

## 保护水资源

对水径中剂量的分析表明，自耕农方案作为保护子孙后代基础是至关重要的。

落基平原地下水中镅-241、钚-239/240 以及释放阿尔法射线的放射性核素的当前含量一般而言被认为远低于当前美国环境保护署的超铀放射性核素标准<sup>5</sup>——每升 15 微微居。但是，与适用于大多数贝他释放者的基于关键器官每年受到(的辐射剂量)被限制在 4 毫雷而引起的健康风险相比，美国环境保护署的超铀核素标准远为宽松。该剂量(标准)没有考虑上述情况。

安全饮用水对超铀放射性核素的——其中大部分释放阿尔法射线——

## 水中的放射性核素：规则在未来可能出现的变化

联邦安全饮用水规则在放射性核素方面包含着明显的不一致性。《联邦规则法典》第 40 款第 141 部分<sup>†</sup>中规定，这些规则所允许的总沾染量是，衰变-238、钚-239 和镅-241 等释放阿尔法射线的铀后放射性核素引发（的辐射）不超过每升 15 微微居。

与此同时，这些规则对大多数释放贝他射线的放射性核素，例如：铯-137 和碘-129，施加了剂量限制——对于关键器官每年不得超过 4 毫雷。对允许浓度没有做出特殊规定，但其计算必须采用主流的剂量换算系数。

事实表明，如果将当前可行的剂量换算系数<sup>‡</sup>运用到释放阿尔法射线的铀后元素上，日常饮用水中含有每升 15 微微居钚-239/240 或镅-241 的一个成年男性的关键器官受到的辐射剂量将比大多数释放贝他射线的铀后元素被允许的每年 4 毫雷的辐射量高出约 180 倍。（钚和镅的关键器官是骨表。）水中的沾染物只要达到 1 微微居钚-239/240，饮用水中的辐射剂量就足以表现为每年 4 毫雷。就镎-237 而言，相当于每升 15 微微居沾染的剂量比骨表每年 4 毫雷（的标准）高出差不多 280 倍。

科罗拉多州对地表水中钚含量制定的州标准是每升 0.15 微微居。在落基平原，该标准实施于该厂址的下游边界处，在那里从流出该厂址的溪流中计算 30 天的平均流量。在 1997 年的两个相互不关联的 30 天期间，这些支流之一的胡桃溪(Walnut Creek)超标。

能源部已经建议用将计算平均值的时间从一个月改为更长阶段的办法来修改科罗拉多州的标准。同时，由该厂址合同商凯瑟-希尔公司操作的、美国能源部资助的一项多年的研究得出结论说，清洁到放射性核素土壤行动等级达每克 10 微微居将无法满足为第 103 地块（落基平原设施中受污染最严重的部分）下游受沾染最严重地区所制定的每年 0.15 微微居的限制。另一方面，以 30 天为阶段实施的标准在大多数情况下会导致年均水平低于每升 0.15 微微居的情况。

就钚-239/240 而言，科罗拉多州规定的限制将导致骨表每年受到约 7 毫雷的辐射剂量，而大多数贝他射线释放者运用的联邦饮用水剂量限制是每年 4 毫雷。如果将该标准制定为骨表受到镅-241 或钚-239/240 辐射每年最多为 4 毫雷，那么平均最大允许浓度将为约每升 0.08 微微居（四舍五入至一位有效数字）。如果所含污染物多于一项，每个放射性核素的浓度限制要更低。

当前实施中的联邦安全饮用水标准在钚浓度方面比科罗拉多州的地表水纯度标准宽松百倍。联邦铀后放射性核素的限制没有理由被定得这样高，而且它与大多数放射性核素的最大允许剂量是如此的不一致。

<sup>†</sup> 美国环境保护署：《联邦规则法典》第 40 款、第 141 部分，7-1-00 版。

网上地址是：[www.epa.gov/safewater/regs.html](http://www.epa.gov/safewater/regs.html)。

<sup>‡</sup> 在《联邦指南报告》第 11 期（完整引用见第 9 页上注释 8）。

限制目前并没有以与大多数释放贝他射线的放射性核素相同的方法界定。美国环境保护署对释放阿尔法射线超铀核素的限制是根据用了 40 年之久的剂量估算程序制定的。出于长期规划的目的，有理由假设：超铀核素的限制最终将与当前的剂量估算程序协调起来。<sup>§</sup>（至于安全饮用水规则中有关放射性核素的不一致性，其进一步讨论见以上文字框。）

据报道，2000 年秋落基平原地下水中有镅-241 的沾染水平是每升 0.0354 微微居。同一样品中每升还含有 0.0624 微微居钚-239/240。将其相加，这仅是当前饮用水限制的约 0.3%。但是，如果有人常年饮用具有该（沾染物）浓度的水，用美国环保署当前一般用于危险剂量估算<sup>¶</sup>的剂量换算系数计算，该人骨表（受这些

放射性核素影响的关键器官<sup>8</sup>) 每年受到的辐射剂量约为 2.1 毫雷。

至于风险评估公司提议的将钚的放射性核素土壤行动等级设为每克 35 微微居，那么据此估算出的水径剂量将相当于人体受到每年约 6 毫雷的有效剂量。相应的骨表剂量将约为每年 110 毫雷。单单于骨表每年 4 毫雷剂量限制相应的放射性核素土壤行动等级是约每克 1.2 微微居，或者说低于风险评估公司所建议的约 30 倍。

### 辐射的野生生物保护所

20 世纪 90 年代初，美国能源部与环境保护署合作开展过一个项目以制定国家清洁标准。但是，美国能源部于 90 年代中期突然退出了该项目，并且没有任何恢复计划。自那时以来，美国能源部在每个厂址单独处理的基础上应付这一问题。这导致了(质量)参差不齐的使用各种方案的清洁建议，而野生生物保护所是受到美国能源部及其合同商青睐的方案之一。

人们认为，核武器综合体的 130 多个厂址中有五个厂址可以反映出大部分清洁成本。这五个厂址是：田纳西州的橡树岭、华盛顿州的汉福德、南卡罗莱纳州临佐治亚州边界的塞凡纳河厂址、爱达荷国家工程实验室、以及落基平原。这几个厂址目前被建议采纳野生生物保护所方案。

2001 年 12 月，布什总统签署将落基平原作为国家野生生物保护所的法案使之成为法律。<sup>9</sup> 它规定，在清洁(按照《落基平原清洁协议》的界定)

和关闭之后，该厂址将由美国能源部转交给内政部。

美国能源部、环保署和科罗拉多公众健康与环境部计划用野生生物保护所这一方案来为落基平原设定放射性核素土壤行动等级。尤其需要指出的是，这些机构倾向于计算出用于保护野生生物保护所工作人员的放射性核素土壤行动等级，而该方案的保护性比自耕农方案差。他们希望于 2002 年 5 月提出放射性核素土壤行动等级。此后，经过 60 天的评议期，他们将做出最终决定。

该方案的支持者认为，通过限制靠近该厂址，野生生物保护所可以使不在现场的人口受到的实际风险降到最低。这些支持者虽然宣称野生生物保护所将使美国能源部摆脱主要的清洁工作，而且有助于保护已经受到影响的自然生态系统，但同时他们也认为，能源部的清洁项目一直非常昂贵、不起作用、效率低下，而且成本只会上升。他们认为，由于核武器厂址已经在很长一段时间里禁止公众进入，它们成了地方性物种的避风港；否则，这些物种将由于蔓生和人类干预而处于危险之中。(例如，见“从废物到荒野”<sup>10</sup>。) 他们还声称，长期清洁达到高水平的技术目前尚不存在，要达成这种清洁需要技术进步。至少在涉及到落基平原的问题上，我们评估了这些论点，所得出的结论是，它们经不起仔细推敲。

为了保留开放空间并在未来几年里减少人们接近受沾染的地区，厂址是否要被设计为野生生物保护所是这

样一个问题，它完全不同于应该怎样评估在遥远的将来人们受到的辐射剂量这个问题。与我们谈论的时间框架相比，机构性记忆显得很短暂。法律会发生变化，就象土地使用方式会发生变化一样。落基平原已经成为快速发展的丹佛-伯尔德城市廊的一部分，而且不会有预先的保证说，这一开放空间就不会象其它地区发生的情况一样成为发展压力的牺牲品。这样，野生生物保护所方案就不应该被用来评估今后几个世纪里该厂址可能被怎样使用。

进一步来说，将受沾染厂址纳入野生生物保护所的方案也没有考虑以下因素，比如：对野生生物长期演化的影响、可能导致放射性核素更快移入的有机物质在该厂址上的增加、以及由于人口高度密集地区野生生物与人类的相互影响而复杂的影响人类的途径等。最后，技术不成熟的问题对放射性核素土壤行动等级而言至少部分是不合逻辑的。没有理由说高沾染土壤就不可以被移走并被作为放射性废物而不可逆转地储存起来。

通过限制接近厂址来保护公众健

**不同厂址在不同方案下的  
土壤行动等级及导致的辐射剂量**

厂址	方案	土壤行动等级		土壤行动等级允许的剂量(毫雷/年)	
		钚-239/240	镅-241	钚-239/240	镅-241
落基平原	开放空间	9906	1283	15	15
	办公室人员	1088	209	15	15
	未来居民	252	38	15	15
汉福德	农业住宅	34	31	15	15
	产业工人	245	210	15	15
	内华达试验场*	农业住宅	162	13.2	10.7
马拉林加	牧民	162	13.2	42.6	3.56
	农民	162	13.2	20.1	1.84
	牧童	162	13.2	16.7	1.61
帕洛马雷斯	产业工人	162	13.2	3.97	0.42
	约翰逊·阿托尔	住宅(吸入)	17	无资料	20
	住宅(吸入)	280	无资料	500	无资料
帕洛马雷斯	住宅(吸入)	1230	无资料	100	无资料

\* 内华达试验场的剂量根据假设的土壤浓度计算。它们不是实际的土壤行动等级。

资料来源：《最终报告：任务1：其它厂址的清洁水平》，放射性核素土壤行动等级监督小组。(RAC Report No. 6-RSALOP-RFSAL-1999-Final)，风险评估公司，1999年4月。

注意：根据能源与环境研究所的建议，落基平原放射性核素土壤行动等级的范围应该在每克1-10微微居间，该范围的低端考虑了用水情况。

康最多只能获得暂时的利益。这一方案建立在以几十年为时间框架来保护公众健康的基础上，它无法提供合法性，几十年的时间远少于几百抑或甚至几千年。因此，落基平原野生生物保护所方案不应该被用来制定放射性核素土壤行动等级。

#### 机制性的和成本的考虑

自冷战结束以来，美国能源部做了很多努力来描绘（核）武器综合体中环境问题的性质。然而，由于这一事实，即能源部无法制定出一套内在连贯的有重点的发展计划，实际的清

洁过程受到限制。资金浪费中有许多不是因为清洁中遇到困难，而是因为管理不善，这已经妨碍了能源部的（清洁）项目。正如能源与环境研究所在其以前有关该课题的详尽研究中已经指出的，“蹩脚的机构文化是该问题的核心。

成本经常被引证来作为制定更宽松的标准的因素。但是，美国能源部在历史上选用的废物管理方法在短期内是权宜之计，而从长远来看，它们将变成远为更加昂贵和困难的清洁问题。没有将清洁工作放在第一位使得污染通过两条途径传播开来。其一是借助天气的力量；其二，也是越来越明显的是，通过途经该厂址、但不留驻在该地的动物群。权宜的解决方法在当时也许显得比较廉价，但是，它们已经成为美国当前在其核武器综合体中面临巨大清洁费用的主要原因。

虽然甚至是管理完善和内在一致的清洁项目也很昂贵，但这些成本必须置于总体环境下观察。据美国能源部估计，为了部分性地恢复环境，废物管理和处置在 75 年间需要 2270 亿美元。这仅占美国于 1940–1996 年间建造和部署核武器所耗总共 5.5 兆亿美元<sup>12</sup> 的 4%。而且，这些费用中的绝大部分事实上被用于材料管理和安全保障、厂址安全、以及诸如此类的项目，这些钱是总要花的。即使根据苛刻的标准，假设冷战时期在核武器上所花的费用都很适当，清洁工作的实际成本可能也仅处在冷战时核武器总成本的百分之几的数量级上。

环境问题的成本内在化是政府为

私营工业制定规则时试图施加的重要原则。制定和满足严格的清洁标准是核武器成本内在化的一部分。至关重要的是，政府应该对它自己也制定它希望私营部门达到的高标准，而且这应该在公众健康长期保护标准的基础上进行。

## 建议

能源与环境研究所关于制定保护子孙后代的清洁标准的建议归纳在最后一页上。

<sup>1</sup> 本工作的部分支持来自市民监督和技术协助基金给予落基山和平与正义中心的资助。

<sup>2</sup> 该部分中出现的一些信息来自落基山和平与正义中心的勒罗·莫尔于 2001 年 12 月 11 日在能源与环境研究所新闻发布会上对“制定清洁标准以保护子孙后代”报告所做的介绍，网上地址：[www.ieer.org/reports/rocky/lerstmt.html](http://www.ieer.org/reports/rocky/lerstmt.html)。

<sup>3</sup> 有关钚转移的更多信息，见能源与环境研究所报告的第 25 页。

<sup>4</sup> 与托德·安德森的电子通信，能源部-落基平原，2002 年 3 月 22 日，以及凯泽-希尔合同号 DE-AC34-00RF01904，2000 年 2 月 1 日至厂址关闭（2006 年 12 月 15 日），于 2002 年 3 月 22 日经 [www.rfets.gov](http://www.rfets.gov) 见于网上。

<sup>5</sup> “铀后”这一术语指原子数高于 92（铀的原子数）的元素，它们实质上是人造元素。（有一、二个铀后放射性核素在自然界中以极低的数量存在。）

<sup>6</sup> “环保署规则指南第 13 号”中包含了更多的近期科学方法，但是这些方法并不可以直接比照。大致上，放射性核素土壤行动等级是基于每克土壤中钚约为 3 微微居的那些方法。[规则指南第 13 号的全称是：艾克曼等：“环境受到放射性核素辐射而引起致癌风险的系数”，（联邦指南报告第 13 号）（环保署报告号 EPA-402-R-99-002）田纳西，橡树岭：橡树岭国家实验室；华盛顿特区：美国环境保护署，辐射与室内空气办公室，1999 年。]

<sup>7</sup> 关键器官是指由于其化学性质而受到某一放射性核

素影响最大的器官。例如，钚-239/240 和镅-241 的关键器官是骨骼。关键器官受到的辐射剂量仅是其吸入或食入放射性核素而受到的辐射的剂量的一部分。将关键器官受到的辐射剂量限制在一定数量比整个人体受到相同数量的辐射更具保护性。换句话说，产生相当于 4 毫雷的对整个人体有效的剂量所需的沾染程度在许多情况下（包括钚和镅）比对关键器官产生相同剂量要高出许多。

<sup>8</sup> 联邦指导报告第 11 号：艾克曼等：“限制纳入放射性核素、空气浓度以及吸入、饮下和吞咽剂量转换系数的标准”（书脊标题：ALIs, DACs 以及剂量转换系数），环保署 520/1-88-020，田纳西，橡树岭：橡树岭国家实验室，放射性项目办公室，1988 年 9 月。网址：[www.eqa.gov/radiation/assessment/pubs.html](http://www.eqa.gov/radiation/assessment/pubs.html)。

<sup>9</sup> 2001 年落基平原国家野生生物保护所法案，第 31 条，2002 财年国防授权法案第 F 款（公共法律第 107-107）。

<sup>10</sup> 罗伯特·H·纳尔森：《从废物到荒原：在核弹制造厂址维持生物多样性》（华盛顿特区：竞争企业研究所，2001 年）。

<sup>11</sup> 马克·费奥拉凡提、阿琼·麦克贾尼：“遏制冷战垃圾：重构美国核武器综合体的环境管理”（马里兰，塔库玛公园：能源与环境研究所，1997 年）。

<sup>12</sup> 史蒂芬·I·施瓦茨（编）：《原子审计：1940 年以来美国核武器的代价与后果》（华盛顿特区：布鲁金斯研究所出版社，1998 年）。

## 自耕农方案： 其发展、运用和科学基础

辐射防护主要的科学基础一直是，并将继续是，在受到人造辐射源最大威胁的情况下，对个人受到的最大允许辐射设定限制。历史上，辐射标准的制定具有被保护工人的具体背景，诸如医药行业中射线的操作者，用镭点漆仪表盘的工人，以及曼哈顿项目参加者等等。工作者受到的辐射剂量通过使用胶片带、尿液监测以及其它方法测量或推断。（有关职工剂量规则的综述，请参见《用于民主行动的科学》，第 9 卷第 1 期，2000 年 12 月。）

核设施之外的普通公众没有得到相同的保护性监测。结果，人们发展了估算剂量的保守性方法来保护不在

核设施中的人群。这种方法在大多数情况下也被用来限制人群受到的辐射剂量。在 20 世纪 50 年代末和 60 年代初，美国能源部的前身——原子能委员会制定了最早的用来保护非核设施人群的法规。长期以来已经形成的具体做法是，在厂址的边界地区限制放

射性核素的最大允许浓度，以使假设中最受辐射的个体所受到的辐射剂量不超过特定的辐射剂量。为了计算长期受到的辐射剂量，还引入了“关键群体”的概念。

自耕农方案假设有些人可能在不知情的情况下饮用受沾染的水或用受沾染的水灌溉其所有食物。

所谓“最多受辐射个体”是指通常位于核设施边界地区或其附近而不

为了计算未来的(受)辐射剂量并制定清洁标准(或贮存性能标准)，一小组同质的个体被用来界定“关键个体”。国际辐射防护委员会出版物46(1985年)以如下方式界定关键群体：

在无法界定一个事实上存在的群体时，应该考虑一个由于地点和时间而受到最大(辐射)剂量的同质群体或有代表性的个体。该群体的习性和特征应该根据谨慎而合理的假设并基于当前所知的情况。例如，关键群体可以是一组生活在(核废物)贮存场附近、其用水来自附近地下水蓄水层的人群。由于在整个人口的实际剂量构成的分布情况中关键群体代表其极端形式，这一过程试图确保没有个体受到不可接受的高剂量的辐射。

国际辐射防护委员会建议，关键群体应该是小型的，以便于其同质性的上限达到规模通常为“多至一、二十人”。关键群体可以小到只有一个人构成。在这一特殊情况下，假设中最受辐射个体这一关键群体的同质性最为彻底。

在极端的情况下，例如在应付不能仔细描述特征的未来环境下，用单个的假设个体来界定关键群体也许比较方便。(着重号为作者所加。)(国际辐射防护委员会出版物43，1984年)

到最大辐射剂量的人员。在美国早至20世纪60年代的规则中，最多受到辐射个体的概念并不清晰，但现在它已是目前服务于当代人群的辐射防护法规的核心。

“关键群体”是一般人群中一个小型、同质的子集合，其特点在于：该群体的生活方式或饮食习惯可能使他们比其他人群受到更高的辐射剂量。实践中，最多受辐射个体是关键群体中的一员，他受到的辐射在(关键)群体中最，因此也就在整个普通公众中受到的辐射最多。

关键群体和最多受辐射个体是必要的统计概念，虽然它们并没有涵盖所有可能的偶然性，但它们在很大程度上有可能成为防止普通公众受到超过法规规定限额的辐射剂量的工具。

(有关这些概念的进一步讨论，见以上文字框。)

自耕农方案是作为最多受辐射个

体在沾染或废物置放行动可能给子孙后代带去癌症风险或其它疾病后果的情况下延伸而发展起来的。当长期受辐射的主要途径不明时，通常的做法就是用自耕农方案来计算所允许受到辐射的风险或程度。如果根据估算，自耕农方案预测的(辐射)剂量和风险都很有把握地低于所允许的限额，那么合理的推论就是其他公众也受到保护。

选择一种清洁的框架无法解决所有的不确定性——未来的生活方式、饮食习惯、人口安置方案、土地使用法规、气候、环境保护标准、未来对污染或沾染风险的评估、特殊资源在未来的使用——但它涉及到这些不确定性的方式使清洁标准在遇到可能出现的变化时相对来说难以更改。相应地，自耕农方案假设有关沾染的机制性记忆可能丧失，而有些人可能在不知情的情况下饮用或用受沾染的水灌溉其所有食物。而且，该方案假设这

样的遭受辐射会持续整个生命周期，而不是仅仅几年。其中保守的看法是，关于未来的生活方式，没有几个假设认为它会导致受到更多的辐射。那样，剩下的不确定性就在于为构建未来剂量模式而选择的参数，比如与气候和水文学有关的参数，以及与沾染物在环境中转移有关的参数等。

并非难以置信的是，即使在人口快速城市化的背景下，未来也可能有相当数量的人会选择成为自给自足的农民或采取与此接近的生活方式。事实上，想象一下（未来的）经济、社会和技术条件，在那样的条件下大部分人口自己耕种或从当地获得其大部分口粮是很有可能的。

一种假设认为，一个人群中所有个体受到的危险都小于假设中自耕农受到的。这种假设在某些尚不明确但可能性很小的情况下可能被证明是错的。例如，自耕农方案假设，未来人口的饮食习惯以及食物和用水都与今天的人们相似。通常的情况是排除了仅由受到沾染最严重的食物构成的极端饮食习惯。这种饮食习惯不可以被排除在外，但同时也有理由认为这种饮食习惯不可能被采用，除非有事实表明情况并非如此。

使用自耕农方案有一个很好的先例。自 20 世纪 80 年代以来，美国能源部在分析所允许的置留沾染物程度时所使用的就是一个自耕农方案式的模型。过去，尤卡山计划对于未来辐射剂量的估算就基于自耕农（方法）。美国核规则委员会以及废物隔离实验

厂和桑迪亚国家实验室的项目组也都使用过自耕农方案或其变体。就规则方面而言，美国环境保护署在制定增加资金规则时使用了自耕农方案。自耕农方案还在国际上受到相当一致的支持：它已在英国、瑞典、芬兰、挪威、瑞士以及其它国家中得到使用，并与国际辐射防护委员会的建议相一致。（国际来源的引文和参考物，请参见能源与环境研究所的报告。）

用来反对自耕农方案的一个观点是，它对于诸如尤卡山之类的拟议中的地理处置（核废物的）场所以及诸如落基平原之类的核设施过于严厉。但是，这种观点不堪一驳。就尤卡山

#### 使用自耕农方案 有一个很有说服力的 先例。

而言，已经有事实表明，美国能源部采纳的贮存设计在未来将不能满足已确立的性能限制。它无法满足目前已确立的对贮存点附近安全饮用水的限制。这并不意味着自耕农方案过于严厉，而是表明贮存地点（的选择）和方案太糟了。

总之，自耕农方案是用来计算未来规则中剂量限制的一种谨慎、严厉和在实践中具有约束力的方法。它为强有力地应对未来的各种不确定性提供了合理的和具有科学上和历史经验支持的框架。

本栏目摘取自能源与环境研究所的研究报告：“制定清洁标准以保护子孙后代：自耕农方案的科学基础以及对估算落基平原放射性核素土壤行动等级的影响”（2001 年 12 月）。参考资料请查阅该报告，其在能源与环境研究所网站上的地址是：  
[www.ieer.org/reports/rocky/toc.html](http://www.ieer.org/reports/rocky/toc.html)。

## 康吉玛：凌驾法律之上？

有关一家建在南卡罗莱纳州处理钚的美国公司的母公司的一些事实

安妮·麦克贾尼

琳达·冈特<sup>\*</sup>

阿琼·麦克贾尼

“实施[法国核废物法]与一家自认为凌驾于法律之上的技术统治论机构[康吉玛]发生冲突。”

——克里斯蒂安·巴塔伊，法国议会法规专家及法国管理核废物法律的作者<sup>1</sup>

“不管它们在欧洲的记录怎样，或好或坏或无关紧要，这都不会影响我们的决定。”

——梅拉妮·加洛韦，美国核规则委员会浓缩部分负责人，评康吉玛<sup>2</sup>

法国公司康吉玛的美国子公司康吉玛有限公司被建立起来用于将美国多余的武器级钚处理为美国商业反应堆中使用的钚燃料。美国能源部已经将设计再处理厂的合同交付给一个（多个团体的）组合。在这个组合中，康吉玛有限公司是唯一具有钚燃料处理经验的公司。该燃料将是铀和钚氧化物（来自武器级钚）的混合物，技术用语称其为混合氧化物燃料或MOX。

康吉玛有限公司的经验局限在用来自商业反应堆乏燃料中的钚制造混合氧化物燃料。（没有公司曾在工业规模上将武器级的钚制成燃料。）然而，康吉玛有限公司获得美国能源部项目的资格来自其法国母公司——康吉玛（核材料总公司）<sup>3</sup>。康吉玛是世

界上最大的商业核再处理公司和商业混合氧化物燃料制造公司。

由于康吉玛有限公司的法国母公司的经验和专长是这一美国子公司参与（履行美国能源部合同）组合的基础，能源与环境研究所相信，该母公司在其所有方面的记录将对其子公司产生影响。美国核规则委员会的立场是，美国的子公司必须遵从美国的法律，遵守美国能源部的合同程序，并听从美国核规则委员会的规范。<sup>3</sup>但是，这可能只是自欺欺人的安慰。<sup>4</sup>

与法国母公司的专长关系到其美国子公司获得合同的理由相同，该母公司在健康、环境和规则方面的遵从记录也与其美国子公司的运行情况有关。如果该母公司的行为在遵从法国的法律和规则方面漫不经心，如果其有意拒绝国际公认的放射性保护法规的科学基础，那么假设其子公司不会具有相同企业文化的基础是什么呢？该问题至少值得质疑，尤其是在法国出现的情况已经发展得相当严重，以至于克里斯蒂安·巴塔伊——法国议会规则方面的领袖人物以及法国核工业的支持者——已经得出结论，康吉玛已将其自身凌驾于他起草的法律的精神之上。

具有这一担心的不仅仅是我们。还有许多其它组织（和个人）也具有相同的担心。南卡罗莱纳州参议员菲尔·莱文蒂斯在给美国参议员斯特罗姆·瑟蒙德的一封信中道出了他的这

<sup>\*</sup> 康吉玛是该公司法语全称的音译。——译者

一忧虑：

我们想要一家其企业文化中含有违法因素的公司落户我们州吗？我们想要一家在履行其对法官的承诺方面长期拖延以至于该法官不得不亲自带着法警到该公司总部（执法）的公司在我们州运营吗？我知道我不希望这样。<sup>5</sup>

### 康吉玛在法国的再处理工作

作为其商业再处理操作从法国和外国乏燃料中提取钚的组成部分，康吉玛每年向英吉利海峡倾倒几亿升放射性液态废物。尤其是在 1996 年，5 亿升液态放射性废物被倾倒入海中，其中含有的放射性总量达 285000 居里。<sup>6</sup>康吉玛的商业再处理厂（有两个大型单位构成）位于诺曼底半岛的拉阿格。

其液态倾倒物的平均放射性浓度为约每克 570 微微居，很明显适用于低度放射性废物的定义。根据美国运输部的规定，如果将液态废物置于容器中，其作为放射性废物运输需要获得特别审批，因为它大大超过界定这种废物的每克 2 毫居的限制。<sup>7</sup>

如果将从管道中流出的这些液体废物装入容器并随后倒入公海，这一行动将破坏 1992 年的《奥斯陆-巴黎公约》。该公约中规定：“禁止将包括废物在内的低度和中度放射性物质倒入[公海]。”<sup>8</sup>法国和英国都是公约的签署国，但他们在签署公约时

就预备了临时漏洞以继续将放射性废物倒入海中。

该漏洞使康吉玛及其英国同行——英国核燃料有限公司——得以仰仗法律上的一个杜撰，即通过管道排泄的液态废物不是低度放射性废物。当然，这一法律上的障眼法无法改变欧洲海域中的物理和生态现实，而正是这一现实成为以《奥斯陆协议》大多数缔约国为一方，以康吉玛、英国核燃料有限公司以及法国和英国支持者为另一方进行长期辩论的基础。（英国核燃料有限公司 100% 由英国政府拥有。康吉玛是新成立的巨型联合综合体阿瑞瓦<sup>9</sup>的组成部分。阿瑞瓦在核电、通讯及其它业务中有广泛利益，法国政府实体拥有其的 85% 以上。）

1998 年 7 月，《奥斯陆-巴黎公约》（成员）以更大的紧迫性提出液态废物的倾倒问题。该委员会在当时采取了以下战略：

我们要确保到 2020 年放射性物质的

#### 《奥斯陆-巴黎公约》

《大西洋东北部海洋环境保护公约》（更常见的是被称为《奥斯陆-巴黎公约》，简称“奥斯陆-巴黎”）于 1992 年 9 月 22 日开放签署。该公约于 1998 年 3 月 25 日生效。《奥斯陆-巴黎公约》有 16 个缔约成员（即已签署并批准了该公约的成员）：

比利时	冰岛	西班牙
丹麦	爱尔兰	瑞典
欧盟	卢森堡	瑞士
芬兰	荷兰	美国
法国	挪威	
德国	葡萄牙	

资料来源：[www.ospar.org](http://www.ospar.org)，见于 2002 年 3 月 27 日。

<sup>5</sup> AREVA 的音译。——译者

倾倒、释放和损耗下降到这种程度，即海洋环境中（沾染物）浓度的增加相对于由于倾倒、释放和损害所造成的历史水平接近于零。<sup>9</sup>

这仍留下了一个小漏洞。随着有越来越多的事实表明康吉玛和英国核燃料有限公司再处理操作中产生的放射性（污染）远播到直至北冰洋的各大洋中，《奥斯陆-巴黎公约》成员在其 2000 年会议上消除这一漏洞。在该年六月份：

……12 国采纳了一项具有约束力的决议，减少和消除尤其是来自核再处理（过程的）放射性倾倒、释放和损耗。这要求紧急审议目前对于倾倒和释放来自核再处理厂的放射性物质的授权，其要达到的目的是，在适合的设施中对乏燃料管理选择不进行再处理并采取措施防止由事故导致污染。法国和英国对此弃权，因此不受约束。<sup>10</sup>

《奥斯陆-巴黎公约》的决定仅对那些投票赞同决议的国家具有约束力。由于法国和英国政府投了弃权票，它们就不受这些决定的约束。但是，为了在事实上不放弃废物倾倒的情况下平息欧洲 12 国政府提出的强烈要求，康吉玛采取了对环境的所谓“零影响”政策，而不是“零排放”政策。这本身并没有将康吉玛置于法律之上，因为法国政府的弃权已经使该公司得以自由地继续污染欧洲水域。但是，康吉玛走得更远。它将辐射防护所依赖建立的科学基础掌控在自己手中，并由此颠覆所有现有的辐射防护规则形态。

### 康吉玛成了科学和法律的独裁者

在决定对《奥斯陆-巴黎公约》的零倾倒要求做出反应，声称它将致力于“零影响”之后，康吉玛做出以下声明：

康吉玛已经承诺，康吉玛-拉阿格运行中对公众的参照人员产生的影响，无论涉及处理活动还是处理材料的类型，都不会超过每年 30 微西韦特这一临界剂量。专家认为，这一剂量水平等同于“零影响”，这是零释放概念在操作中的解释。<sup>11</sup>

根据这一声明，康吉玛明确声称，辐射剂量在每年 3 毫雷(30 微西韦特)这一临界点以下不产生影响。它引用未指名的“专家”作为其（理论）的基础。但是，美国和国际的科学咨询机构已多次驳斥了辐射损害具有临界的观念。辐射防护的基础在美国象在

#### 康吉玛

每年向英吉利海峡

倾倒几亿升

放射性液态废物。

欧洲一样一直并将继续是辐射剂量的每一点增加都会引起患癌风险的相应增加。这被称为“线性无临界假说”。工业界和学术界都有人不同意这些科学学说和规则，因为关于风险的确切规模具有相当的不确定性和争议。但是，由知名机构进行的每一项科学研究都得出相同结论——公认的剂量与风险成正比的假说在科学和法规层面上都是最好的。

对这一效果的最新结论来自美国疾病控制和预防中心。在其 2001 年 8 月的报告中，美国疾病控制和预防中心总结道：“来自这些全国性和国际专家小组的结论和总结[……]这些资

料没有预示存在这样一个临界点，在该临界点下就没有过量的风险。”它甚至补充道：“有人认为也许存在着一个临界点，在该临界点以下的剂量没有危险。但是，正如前面所指出的，目前获得的资料并不支持这一假说。”<sup>12</sup>（着重号为作者所加。）美国疾病控制和预防中心的报告已提交美国科学院审议。

根据美国当前的法规，30 微西韦特（3 毫雷）的剂量当然不能被认为是零影响的。例如，《美国安全饮用水规则》限制各种放射性核素作为饮用受沾染水的结果对人体关键器官的辐射剂量。对于诸如碘-129 之类的大贝他射线释放者而言，其规定是饮用水中的浓度不应该超过每年会对关键器官形成 4 毫雷以上辐射剂量的水平。对于许多或大多数放射性核素来说，这将转释为相当于整个人体每年受到的辐射剂量应小于 3 毫雷，但这不是一成不变的情况。

例如，就碘-129 而言，甲状腺是其关键器官。甲状腺的换算系数是 3%。这样，甲状腺每年受到 4 毫雷（辐射）剂量相对于整个人体的有效剂量约为每年 0.12 毫雷。如果依据康吉玛自己的“零影响”标准，美国的饮用水受碘-129 沾染就将达到整个人体 3

毫雷的水平，那么这种水就超过了允许的沾染标准的 25 倍。因此，水中的碘-129 浓度即使被康吉玛称为“零影响”，它也会在总体上破坏美国关于安全饮用水的规则。（有关美国饮用水规则中放射性核素条款的不一致性的信息，请参见第 5 页上的文字框。）

由于欧洲的规则与美国的相似，康吉玛断称 30 微西韦特辐射剂量为“零影响”就公然违反了欧盟和美国的现有法规。而且，虽然康吉玛没有指明其学说基于建立的专家是谁，但有事实表明，康吉玛仅采用了一位科学家的一面之词，而该科学家碰巧就是国际辐射防护委员会的主席。但是，国际辐射防护委员会并没有采取这一假说。康吉玛采纳一位科学家的观点，而这一观点又无疑在工业界和学术界也得到其他一些人的支持，当现有的法规和咨询性科学机构采取相反的观点时，这就意味着康吉玛在辐射防护的科学和规则方面都自行其事。

综合起来，一家工业公司——无视大部分欧洲国家政府声明的目标，无视公认的科学，无视长期以来广为接受的规则系统——简单地判定 3 毫雷剂量为零影响。在缺乏民主或公开的科学程序时权威的傲慢至少应该使美国政府在允许该公司的子公司——

#### 原子迷宫答案

适用于《能源与安全》2002 年第 1 期（2002 年 2 月出版）。

1. a. 2400 万桶  
b. 3000 万桶  
c. 3600 万桶
2. a. 1000 亿美元/百兆英国热单位  
b. 870 亿美元/百兆英国热单位  
c. 1170 亿美元/百兆英国热单位
3. 25%
4. 伊朗
5. 对
6. 阿尔及利亚、印度尼西亚、伊朗、伊拉克、科威特、利比亚、尼日利亚、卡塔尔、沙特阿拉伯、阿联酋、委内瑞拉

康吉玛有限公司——在美国武器工厂内从事武器级钚工作之前清醒一下。

鉴于包括参议员莱文蒂斯在内的许多人表达了忧虑之情，美国核规则委员会早就应该提出质询。但是相反，美国核规则委员会却旁若无人地宣布，该母公司在欧洲的所作所为在此不是关注点（见文章开头引用的加洛韦女士的话）。美国政府凭借康吉玛在欧洲的专长使该公司符合了美国的许可证标准。如果其专长产生了影响，那管理文化或守法记录为什么却无关呢？

### 外国核废物在法国的储存

法国 1991 年关于管理核废物的法律的第三条规定，外国来源的核废物一旦经过再处理，其在法国领土上储存超过一定期限为非法。<sup>13</sup>该条款中暗含的意思是，如果其目的不是再处理或如果尚未寻求或获得再处理的授权，储存进口核乏燃料就为非法。许多诉讼和反对认为，康吉玛通过在没有适当的再处理合同的情况下接受乏燃料或由于归还核废料时非常迟缓而破坏了该法律的精神和条文。（有关这些诉讼的信息出现在《用于民主行动的科学》第 9 卷第 3 期，2001 年 5 月，网上地址：[www.ieer.org/sdafilvol\\_9/9-3/crilan.html](http://www.ieer.org/sdafilvol_9/9-3/crilan.html)。）

法国议会法规专家克里斯蒂安·巴塔伊在谈到针对康吉玛的一项诉讼所进行的调查时说：

我向那位有勇气说坚持法律必须被遵守的年轻法官脱帽致敬。在当时 [该法律通过期间]，我受到各种压力

要使我不投票赞成第三条。它牵涉到许多商业合同，而康吉玛是商业企业。今天，它的实施与将自己视为超越法律之上的专家统治结构发生了冲突。<sup>14</sup>

本文的基础是能源与环境研究所与安全能源传送理事会合作的一份更长的同名报告。

\* 基达·冈特是安全能源传送理事会传送主管，该机构网址：[www.safeenergy.org](http://www.safeenergy.org)。

<sup>1</sup> 马蒂厄·埃夸菲耶：“La mise en examen de la Cogema, Un juge dans l’antre du nucléaire,” *Liberation*, 1999 年 7 月 13 日。第三条规定，在法国土地上储存外国来源的核废物，一旦这些废物经过再处理，其储存超过一定期限为非法。

<sup>2</sup> 布兰登·哈多克：“混合氧化物计划遭当地居民彻查”，《奥古斯塔新闻》，2000 年 7 月 14 日，网址：[www.augustachronicle.com/stories/071400/met\\_051-5368.000.shtml](http://www.augustachronicle.com/stories/071400/met_051-5368.000.shtml)。

<sup>3</sup> 同上。

<sup>4</sup> 有关美国能源部清洁计划管理的各种材料，见能源与环境研究所网址：[www.ieer.org/webindex.html#waste](http://www.ieer.org/webindex.html#waste)。有关美国核规则委员会在商用核行业方面规则松懈的信息也可参见关切世界事务的科学家联合会的网址 ([www.ucsusa.org](http://www.ucsusa.org))。例如，参看关切世界事务的科学家联合会的核安全工程师戴维·洛克鲍姆于 2001 年 5 月 8 日在美国参议院环境与公共工作委员会清洁空气、湿地、私人财产和核安全小组委员会上的听证发言，以及 2000 年 6 月 8 日他在美国众议院商业委员会能源与电力小组委员会上的听证发言。还可参见洛克鲍姆先生的文章：“(核)电厂风险研究：不如人意的质量”，《用于民主行动的科学》，第 9 卷第 1 期，2000 年 12 月，网上地址是 [www.ieer.org/sdafilvol\\_9/9-1/nrcrisk.html](http://www.ieer.org/sdafilvol_9/9-1/nrcrisk.html)。

<sup>5</sup> 参议员菲尔·P·莱文蒂斯致美国参议员斯特罗姆·瑟蒙德的信。1999 年 11 月 4 日。

<sup>6</sup> Michèle le Rivasi, *Rapport sur les conséquences des installations de stockage des déchets nucléaires sur la santé publique et l'environnement*, Paris, Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Techniques, Paris: Assemblée Nationale No 2257, Sénat No 272, March 2000, p.104.

<sup>7</sup> 美国运输部：《联邦规则法典》，条目 49，第 173 部分，第 I 次部分“放射性材料”，1992 年，第 600 页。

<sup>8</sup> 《1992 年奥斯陆-巴黎公约》，附件 II——关于防止和消除由倾倒或焚化引起的污染，网上地址是：[www.ospar.org/eng/html/convention/ospar\\_conv3.htm](http://www.ospar.org/eng/html/convention/ospar_conv3.htm)。  
<sup>9</sup> 同上。

<sup>10</sup> 《奥斯陆-巴黎公约》新闻通告，“进一步保护大西洋的东北部”，2000 年 6 月 30 日周五，网上地址：[www.ospar.org/eng/html/final OSPAR 2000pressrelease.htm](http://www.ospar.org/eng/html/final OSPAR 2000pressrelease.htm)。

<sup>11</sup> “康吉玛在拉阿格的承诺：对环境零影响”（无日

期），网址：[www.cogemaolahague.fr/LaHague/InstitutionUK.nsf/Environnement/Engagement?OpenDocument](http://www.cogemaolahague.fr/LaHague/InstitutionUK.nsf/Environnement/Engagement?OpenDocument)，2002 年 3 月 21 日查看。

<sup>12</sup> “美国和其它国家进行的核武器试验对美国公众造成的健康及后果的可行性研究”，（卷一技术报告，决议前草案），由疾病控制和预防中心健康和人事服务部以及国家癌症研究所为国会准备，2001 年 8 月，第 131、133 和 148 页。

<sup>13</sup> Loi no 91-1381 du 30 d'embre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets.

<sup>14</sup> 见注释 1。

### 亲爱的读者：

自 1985 年成立以来，能源与环境研究所所从事的研究和分析工作已在停止核武器生产、提高核武器生产厂址的清洁工作、以及禁止生产某些可能破坏臭氧层的化学物质等方面做出了重要贡献。简而言之，我们的工作包括向草根组织、新闻工作者和政策制订者提供核问题方面可靠的技术信息，并与遍及全世界的各种组织和活动家合作向美国提供所需的世界观点，也向世界提供所需的美国看法。

我们最近完成的工作中包括以下两项：

- 地下渗流区域的有毒物质。该报告发表于 2001 年 10 月，它研究了美国爱达荷国家工程与环境实验室对美国西北部最重要的地下水源——斯奈克河平原蓄水层的威胁。我们建议采取紧急行动清洁该厂址埋藏的废物，这些废物中包含着超过 1 公吨的钚和大量的其它放射性核素和有毒的非放射性物质。在很大程度上得益于我们与斯奈克河联盟的协作，该报告现在已成为爱达荷有关清洁问题争论的重要组成部分。
- 权力统治还是法治？该报告由能源与环境研究所和核政策律师委员会共同准备，它首次详细并独立地分析了美国对包括《核不扩散条约》、《京都气候变化议定书》、《罗马国际刑事法庭法规》、《全面禁止核试验条约》等等在内的与安全有关的主要条约的遵从情况。该报告得出结论，美国无视关键的条约义务，正危险地由法治滑向一个以权力为基础的世界，这个世界可能更不安全得多。在 2002 年 4 月于纽约召开的《核不扩散条约》预备委员会会议上，加拿大驻联合国大使公开赞扬了该报告的质量。

请考虑在经济方面支持能源与环境研究所的工作。您可以通过一个安全的服务器 [www.ieer.org/contrib.html](http://www.ieer.org/contrib.html) 在网上进行，或邮寄到：Institute for Energy and Environmental Research, 6935 Laurel Avenue, Suite 204, Takoma Park, Maryland 20912, USA。如果您有疑问或想要获得更多的信息，敬请致电 1-301-270-5500 或 1-612-879-7517，或发送电子邮件至 [ieer@ieer.org](mailto:ieer@ieer.org)。您还可以在我们的网页 [www.ieer.org/ieerinfo.html](http://www.ieer.org/ieerinfo.html) 上了解到更多关于能源与环境研究所的信息。

非常感谢！

能源与环境研究所全体成员



# 回信答疑

亲爱的阿琼：

在开采铀时镭是令人担心的物质吗？如果是这样，其原因何在？镭在当前的最大用途是什么？

科罗拉多州好奇的卡尔

亲爱的好奇的卡尔：

在罗马时代，镭是一种明亮而燃烧时间长的蜡烛，用来照亮特别是上演激烈的角斗士拼杀的竞技场。但是到了近代，镭已经成为核机构常用的名词（就象其它许多事情一样）。

镭，尤其是被称为镭-226 的镭同位素，在铀开采和碾磨过程中是个重大问题。镭是铀-238 衰变链的组成部分（可参见能源与环境研究所网站：[www.ieer.org/factsheet/uranium.html](http://www.ieer.org/factsheet/uranium.html)），并由此已经存在于铀矿中。以下是该衰变链的部分情况，用标准符号代表各元素，其起始点为铀-238：

铀-238 → 钍-234+阿尔法粒子 → 钍-234m+贝他粒子 → 镅-234+贝他粒子 → 钍-230+阿尔法粒子 → 镭-226+阿尔法粒子 → 氡-222+阿尔法粒子（等）

镭-226 的化学性质象钙，它如果进入人体会进入骨头中。它的生命周期很长（半衰期为 1600 年）。就如你从以上流程图中所见，镭-226 通过释放出一个阿尔法粒子（氦-4 原子的原子核）衰变为气态的氡-222。因此，在有镭-226 的地方就有氡-222（包括铀矿碾磨场以及一般的土壤中）。氡

气体渗入地下室在世界上有些区域（包括科罗拉多州的一些地方）是造成大众受到相当剂量辐射的原因。

阿尔法粒子仅在释放于人体内部时才造成危险，因为它们不能穿透皮肤的死皮层。但镭-226 还释放伽玛射线。这是一种高频电磁射线（就象 X 射线）。伽玛射线可以穿进人体。因此，镭沾染所施加的危险既来自镭进入人体（通过吞咽或吸入或伤口），也可以由于外部的伽玛射线而仅来自处于镭的附近。除了骨癌，镭还引起诸如白血病之类的疾病，因为它影响到骨髓。

## 开采

在矿场上经常有大量低级的不可用的矿石被扔得到处都是。镭、铀和钍-230（也是铀-238 的一种衰变产物）都是麻烦。在美国西部有许多受到沾染的矿场，在土著美国人保留区或其附近尤为显著。没有法规适用于清洁矿场或保护住在矿场附近的居民。美国环境保护署启动过一个标准制定过程以管理这些沾染，但这一行动被放弃了，主要是因为受到来自美国能源部的压力（美国能源部的厂址也将受到清洁法规的管辖）。

## 碾磨

在铀碾磨场，铀被与矿石中的非放射性和其它放射性物质分离开来。（典型的情况是，铀在矿石中仅占不

到 1%，尽管在加拿大等国有较富含铀的矿石。) 剩余的物质被送往“尾料池”。镭-226 与钍-230 一起最终落脚在那里。如果尾料池干枯，那么就有镭-226 和钍-230 变为气体的危险。雨水也可以导致镭转移，那样其中的一些就会污染地下水。地下水有一些自然生成的镭，但在碾磨地区，水质可能受到很大沾染。

干枯的尾料池还向空气中释放氡气体，这可能向附近人口施放大量辐射剂量。为了防止释放出氡，尾料堆通常处于水下。当然，这增加了镭转移到地下水中的可能性。碾磨尾料的补救标准要求建造嵌池（塑料的内衬），并把尾料堆转入这些嵌池中。但是，这一危险期是钍-230 半衰期——约 75000 年的几倍，这种补救办法不可能持续这样久。

最后，铀碾磨场周围的土壤有可能受到镭的沾染。对此有清洁标准，镭沾染量被限定为地表附近最多为每克 5 微微居，在地表 6 英尺以下为每克 15 微微居。土壤中自然生成的镭-226 的通常水平在每克土壤 1-3 微微居之间。

清洁问题也由于二十世纪初期的镭工业而存在。它们在那个世纪的其余岁月也一直出现。有些镭废物被运到城市的垃圾填埋场，而后房屋又

在这些地方或其附近建造起来。一些位于使用镭的工厂附近的私人产业也受到相当沾染。也有些受到镭-226 沾染的地区位于许多已经决定进行二次开采的油井的附近。

## 镭的应用

20 世纪上半期，特别是 20 世纪 20 年代，镭-226 被用来点漆手表以及仪表（如飞行器上的标度仪）的针盘以使它们发光。用镭点漆仪表盘的工人通常是年轻妇女，他们习惯舔舔刷子以使它们的头尖的，能够点漆得更加精确。他们受到巨大剂量的辐射，许多人死于骨癌。这导致了用镭点漆仪表盘这一行业退出历史舞台以及制订首个内部辐射的剂量标准。

镭沾染所施加的危险  
既来自镭进入人体，  
也可以仅仅由于  
处于镭附近。

现在，镭被用来产生中子源（为达此目的，它被与铍混合在一起）。它也被应用于癌症治疗的有限范围里。癌症的化疗目前主要使用其它同位素，象钴-60 之类，而且，对于某些癌症，越来越多地使用了不需放射性材料的功率强大的电子加速器。

诚挚的

秃顶博士



# 原子迷宫

## 伽玛挖出了不一致性

秃顶博士的爱犬伽玛四下探闻。他发现在对饮用水钚含量的规则限制中有前后矛盾之处。美国联邦法典，尤其是 40CFR141.15，将饮用水中阿尔法粒子总活性的最大沾染程度规定为每升 15 微微居。而下一部分，即 40CFR141.16，将每年 4 毫雷规定为饮用水途径中大多数释放贝他粒子的放射性核素的剂量限制。这一导致 4 毫雷剂量限制的放射性核素的浓度是基于最初于 1963 年由国家标准局颁布的剂量换算系数。<sup>1</sup>这一剂量换算系数在美国环境保护署 1988 年被称为“规则指南 11”的文件中得以更新，<sup>2</sup>但是饮用水中阿尔法粒子总活性的最大沾染程度（每升 15 微微居）仍然基于旧的剂量换算系数。认识到这些之后，请回答以下问题。

1. a. 在“规则指南 11”中，成人骨表（在此情况下是关键器官）中钚-239 的剂量换算系数是  $1.76 \times 10^{-5}$  西韦特/贝克雷尔。在给定 1 西韦特= $10^5$  毫雷，1 贝克雷尔=27 微微居的情况下，毫雷/微微居的剂量换算系数是什么？  
b. 如果一个饮用水水井符合每升 15 微微居限额的规定，一个人饮用 1 升水受到的辐射剂量是多少？  
c. 在法规限制中假设平均每个成人每天刚好饮用 2 升水。如果一个人饮用了这一数量的水，这个人在一年 365 天里受到多少辐射剂量？  
d. 当换算系数为多少时，它将超出 40CFR141.16 中谈到的每年 4 毫雷的限制？  
e. 对大多数贝他（粒子）释放者来说，为满足每年 4 毫雷的限制，钚的最大沾染程度要达到多少？（提示：运用 d 部分的答案）

- f. 从这一练习中可以得出什么结论？
  - i. 目前 40CFR141.15 中将每升 15 微微居作为规范饮用水中阿尔法粒子释放者标准的做法与 40CFR141.16 中将每年 4 毫雷规定为大多数贝他粒子释放者的标准不一致。
  - ii. 一个成人如果按已有日平均量饮用钚含量为标准限额——15 微微居的水，那么他受到的辐射剂量很有可能远远超出对大多数贝他释放者所规定的剂量限制。
  - iii. 以上所有情况。
2. 对错题：标准的做法是，假设阿尔法辐射置于人体内的每单位能量比贝他辐射的损害程度高出 20 倍。（附加题）
3. 在其它所有条件相同的情况下，以下哪种模式对估算子孙后代受到的（辐射）剂量最为谨慎？
  - a. 野生生物保护所工作人员方案
  - b. 办公室工作人员方案
  - c. 自耕农方案
  - d. 年轻成人方案
4. 对错题：假设中的最多受辐射个体不被认为是关键群体的组成部分。

<sup>1</sup> “由于职业关系受到辐射时的人体最大允许负荷以及空气或水中放射性核素的最大允许浓度”，（手册 69），美国国家标准局，1963 年。

<sup>2</sup> 联邦指导报告第 11 号：艾克曼等：“限制放射性核素摄入量、空气浓度、以及由呼吸、浸泡和吞咽受到辐射的剂量换算系数”（书脊标题：ACIs, DACs&剂量换算系数），EPA520/1-88-020，田纳西，橡树岭：橡树岭国家实验室；华盛顿特区：美国环境保护署，辐射项目办公室，1988 年 9 月。网上地址：[www.epa.gov/radiation/assessment/pub.html](http://www.epa.gov/radiation/assessment/pub.html).

## 能源与环境研究所的建议： 制定清洁标准以保护子孙后代

- 美国能源部应该放弃其将野生生物保护所这一称号用作制定放射性核素土壤行动等级的基础的尝试。它应该采纳自耕农方案作为其所有核武器综合体清洁项目的基础。自耕农方案在科学上运用了合理的方法，它相对来说不太可能在将来导致那种损失，即一旦出现问题就引起未来的灾难、丧失信任和（大量）花费。
- 自耕农或自给牧民方案应该被用作制定落基山土壤残留物行动等级的基础，而不要顾及该厂址的野生生物保护所的称号。
- 将落基平原称作野生生物保护所不应该成为其它厂址的先例或在美国能源部的其它主要核武器厂址用来降低清洁费用。
- 应该对野生生物受到的高残留沾染的影响展开仔细调查。还应该就野生生物保护所这一做法在增加钚转移到包括地下水在内的所接触的环境中的潜力展开调查。
- 土壤残留物行动等级达每克土壤含

1-10 微微居钚应该被视为落基平原清洁项目的基础，而不要顾及该厂址野生生物保护所的称号。我们的评估显示，如果考虑地下水流径中的辐射剂量，在每克（土壤）1-3微微居的范围内进行选择更加适合。如果它在未来被扩展到地下水领域，这一土壤残留物行动等级也将与科罗拉多州当前的地表水每升0.15微微居钚含量标准的剂量含义相吻合。应该放弃从与该厂址野生生物保护所称号有关的方案中而来的土壤行动等级。

- 达成最终土壤残留物行动等级及其机制协议的过渡性步骤超出了能源与环境研究所报告的研究范围。但任何清洁计划都必须具体说明基于自耕农或自给牧民方案的标准将怎样达成，以及其过渡步骤将怎样与此目标联系起来。

完整的建议，请参见报告：“制定清洁标准以保卫子孙后代”，[www.ieer.org/reports/rocky/toc.html](http://www.ieer.org/reports/rocky/toc.html)。

## 能源与环境研究所通讯地址：

6935 Laurel Avenue, Suite 204  
Takoma Park, MD 20912, USA



