

能 源 与 安 全

能源与环境研究所出版 · 美国华盛顿 · 二〇〇一年第三期

切尼的能源计划： 技术上既不完善又不可持续

阿琼·麦克贾尼

2001年5月，由美国副总统迪克·切尼率领的一个专项小组发表了题为“国家能源政策：国家能源政策发展小组的报告”的文件。报告内显示的替代标题是：“为美国的未来提供可靠、消费得起和环境效应良好的能源”。该报告经常被简称为切尼计划。其在网上的地址是：
<http://www.whitehouse.gov/energy/>。它已经掀起了对能源政策问题的大量争论。鉴于以下原因，在一段时间里需要这一争论：

- ▶ 相对于欧盟以及近些年来甚至中国的数量，美国释放二氧化碳这种主要的温室气体处于历史记录的高点，并仍

明尼苏达的风场。有关美国风能潜力的信息见第18页。

在上升。

▶ 世界对于石油需求量的上升和美国石油进口的增加出现在中东政治-军事危机重新爆发的背景下，这既与以色列-巴勒斯坦也与伊拉克有关。美国、俄罗

斯（还可能包括中国）之间正就里海-中亚地区（包括伊朗）石油和天然气资源进行竞争。美国石油需要的55%来自进口。每天进口约1,100万桶，它是

在 本 期 内
能源与环境研究所
能源政策建议 17
美国的风能潜力 18
亲爱的阿琼： 何为 PBMRs? 19

目前世界上最大的石油进口国。

公用事业取消规范已经引起包括加利福尼亚的电力价格在内的混乱情况，这在 2000 年之初确实不可想象。据报道的最高价格为每兆瓦·小时 3,880 美元。这差不多是取消规范前被视为电力峰值上限的合理最高价格每兆瓦·小时约 100 美元的近 40 倍。即使在天然气极端高价：每百万英国热量单位 10 美元时，峰值电力的合理最高价是每兆瓦·小时约 200 美元。去年冬天的天然气价格略高于此（在本文写作时的 2001 年 7 月，它仅高出 3 美元，在 2000 年初高出 2 美元）。大量峰值电力可以以低得多的成本产出。

虽然切尼计划在可再生能源资源、效率、衡平法和环境方面投入大量篇幅，但在这些方面的推荐行动非常有限，并将所有这些问题置于能源政策的边缘。减少二氧化碳释放不是该计划的一部分，它在这方面仅提到公司的自愿措施。“国家能源政策”没有提到减少温室气体释放的国际条约²《京都议定书》，美国曾经签署该条约，但布什政府拒绝了它。美国对世界温室气体的约 25% 负有责任。（见下页表格关

《能源与安全》

《能源与安全》是一份报导扬不扩散、裁军和能源可持续性的时事通讯刊物，由能源与环境研究所 (IEER) 一年发行 4 次。

IEER 地址：6935 Laurel Avenue, Suite 204,
Takoma Park, MD 20912, USA

电话：(301) 270-5500

传真：(301) 270-3029

INTERNET: ieer@ieer.org

万维网址：<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、明确的和独立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：阿瑟·麦克费尼

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

编辑员：戴安娜·科恩

对外协调员：丽莎·莱德维奇

项目科学家：安妮·麦克费尼

行政助理：贝特西·瑟洛·希尔兹

感谢我们的支持者

我们衷心感谢我们的资助者，是他们的慷慨资助使我们能够对从事与核武器有关问题工作的基层组织提供技术帮助，并开展我们的全球对外联络项目。我们的资助者是 W. Alton Jones Foundation, John D. And Catherine T. MacArthur Foundation, Colombe Foundation, Public Welfare Foundation, New-Land Foundation, Rockefeller Financial Service, John Merck Fund, Ploughshares Fund, Town Creek Foundation, BKH Foundation, Turner Foundation, Ford Foundation 和 Stewart R. Mott Charitable Trust。

制作：Cutting Edge Graphics

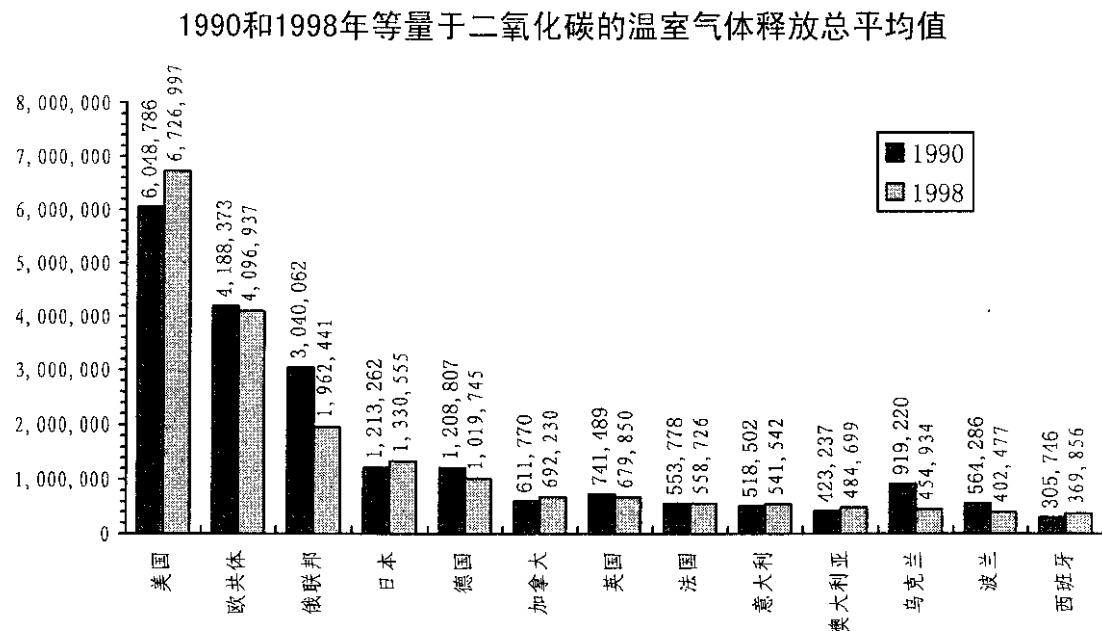
编辑：丽莎·莱德维奇

本期英文版于 2001 年 8 月出版

于美国温室气体释放与其它国家的比较。)

该计划的中心关注(见第五章)是用煤、石油、天然气和核能增加能源供应。作为对关注供应的补充,在相关的第7和8章是基础设施和外交政策措施。以下是“国家能源政策”的一些实施重点:

- ▶ 石油和天然气:推荐的政策是(i)开放联邦油田以开采石油和天然气,特别是减少目前设置在这种开采上的“限制”; (ii)开放部分阿拉斯加国家野生保护区以进行石油和天然气开采(“美国地理调查”估计那里的石油储量在 50-150 亿桶石油); (iii)鼓励在阿拉斯加以外的北冰洋大陆架上开采(石
- ▶ 煤:建议的政策是提供 20 亿美元用于研究清洁煤技术和“提供常规确定性”以使投资煤燃烧来生产电力变得更容易。这看上去隐晦地与二氧化碳释放的潜在法规有关。二氧化碳释放已经成为关注煤炭工业的一个根源。
- ▶ 核能:建议的政策是“支持核能在美国的扩展作为我们国家



油、天然气); (iv)考虑措施以降低“在前沿地区与生产[石油和天然气]有关的风险”,并考虑“激励措施”诸如减少新的大陆架石油和天然气生产中上交政府的矿区使用费用等; (v)促进“通过新技术加强石油和天然气的恢复”。

3

能源政策的主要内容”。这种支持包括：(i)较容易地给超过其设计生命周期的现有核电厂重新发放许可证，(ii)在现有核电厂的厂址鼓励新的核电厂，可能不需要任何新的环境效应声明过程，(iii)为了促进发展“先进的核燃料循环和新一代核能技术”，鼓励研究一种被称为高温处理的新的再处理形式（第 18-21 页）。这暗指综合快反应堆，它是以钠为冷却剂的增殖反应堆，并附有高温处理厂。该计划还主张在商用核材料再处理方面与诸如法国等国家进行国际合作。第五章核能部分还声称，一种被称为“卵石层模式反应堆”的新反应堆类型具有“内在的安全特性”（第 21-22 页），但是没有提到其安全脆弱性的任何方面。（有关这一反应堆的讨论，见第 18 页“亲爱的阿琼”栏目。）

- ▶ **电力厂：**该计划主张美国到 2020 年前基于规划的需求应该建设 1,300 到 1,900 座新的电力厂。（假设中的标准电力厂的规模看上去是 300 兆瓦。）
- ▶ **基础设施：**通过授予在联邦土地上的通行权（建立）新的“法规以授予电力输送线通行权，

而达到创建全国电力输送网的目标”，新的天然气和电力输送线得到鼓励。这将在与目前天然气管道法律相似的基础上，创制联邦权力为跨州商业获得土地。（第 7-7 和 7-8 页。）

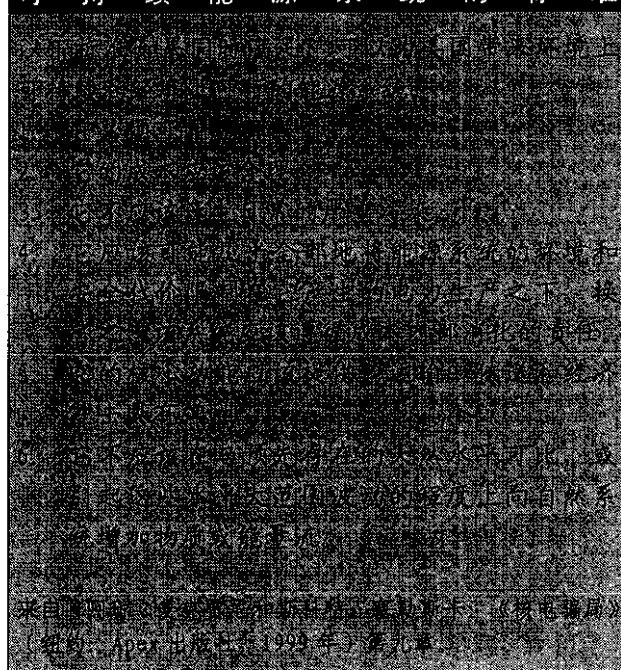
一项全面的条款将倾覆联邦政府能源供应的整个决策制定过程。在总结的供应措施部分，该计划建议，总统“发布行政命令，指示所有联邦机构将有关建议行动对能源影响的一份详尽声明包括在任何法规行动之内”（第 xiv 页）。例如，如果创立新的国家公园，那么就必须研究它对能源的影响。在这一等式的能源需求或效率方面，没有相应的规定。

该计划远远达不到可再生、效率、配送电网、以及分散经营的同时产生热和电（称为共生，它通常比单独产生热和电远为高效）等标准，尽管这些措施按照热力学第二定律的标准可以提高能效。（有关热力学第二定律的描述，见 1998 年 3 月《科学为民主的行动》第 6 卷第 3 期的“亲爱的阿琼”栏目。）例如，在该计划详尽讨论为石油、天然气和核能减少规则和机构障碍的同时，它就配送电网的有关方面没有提出任何建议。它完全忽视了能源部国家可再生能源实验室发表的撰写于 2000 年 7 月³的一项高水

准研究，该研究提供了有关（热电）共生、可再生能源生产和其他适合配送电网的分散电厂受到规则和机构限制的广泛文献。主要电力公司以备用电力供应收费不合理等形式表达出对那些方案的抵制继续是主要问题，正如它已经存在了几十年一样。

切尼计划会为效能提升和可再生能源资源提供税收信贷和补贴。这将：

- ▶ 启动新的法律以为（热电）共生提供税收信贷。
- ▶ 维持对风源电力的每千瓦·小时 1.7 美分的补贴。
- ▶ 为混合型（能源）汽车和燃料电池汽车提供税收信贷，它们都比标准的汽油车辆高效。汽油被用作燃料之一的混合型（能源）汽车在部分时间里使用电池，这些电池在诸如刹车等情况下产生的能量充电。
- ▶ 将美国政府从租借阿拉斯加国家野生保护区给石油公司的所得中拨出 12 亿美元用于可再生能源的研究和开发基金。如果不出租阿拉斯加国家野生保护区，该笔款项将没有着落。
- ▶ 在其它领域，如太阳能等，提供一些中档的税收债券和信贷。
- ▶ 维持某些信息项目以鼓励更高



来自美国能源部和运输部联合发布的《绿色议程》（1999 年）第九章。

的能效和使用可再生能源。

该计划还建议，交通部长在参考了国家科学院的新研究以后，推荐是否以及何种里程标准对于车辆（称为公司平均燃料效能或 CAFE 标准）来说可以建立起来。国家科学院的研究发表于 2001 年 7 月 31 日，它推出许多措施建议以提高能效标准，但没有确定的提议。⁴

客车的公司平均燃料效能标准目前是每加仑 27.5 英里，并自 1985 年⁵定型以来没有更加严格过，尽管公司平均燃料效能标准达每加仑 60 英里的使用混合技术的汽油燃料汽车现在在商业上已经可以获得。使用当前技术，柴油混合型（车辆）可达每加仑 100 英里。轻型卡车（该种类包括运动用车辆、货运面包车、小型面包车和敞篷小型货运车等）的公司平均燃料效能标准自 80

年代中期以来仅在逐渐提高，目前仅为每加仑 20.7 英里。

该计划的总体评价

该计划最显著的成果是在迫切需要该种争论之时，它使能源成为全国讨论的中心课题。在过去的二十年里，该课题在两党（磋商）层面上完全被忽视了。但是，该计划的实质是，技术上不完善和不可持续。它忽视了这样一个事实，即能源体系由供应、分配、转化（从燃料到电力）等方面与使用系统间复杂的互动影响构成。它将相当程度地提高二氧化碳释放，而这时正需要大幅度降低（这种气体的释放）。

尤其值得一提的是，该计划没有考虑能源使用的效能在美国仍然很低这一事实，尽管在过去的 25 年里，这方面已经有了一些提高。通过采取与热力学第二定律有关的措施，能源体系许多部分诸如发光和发热以及汽车和运动用车辆（如果仅考虑载人的）的效率在百分之一至十的范围内。

框图中列出了评估切尼计划或其它能源计划的一些标准。将后面三个标准作为一个整体加以满足比满足前三个困难。例如，核能产生大量钚，并依赖于可以造成灾难性事故的反应堆，这种事故将在无数代人的时间里污染土地。另一个例子是，当前的全球能源系统释放出超过 60 亿公吨的碳（以二氧化碳

形式进入大气），但自然吸收能力仅约有此半数。这两种系统都经不起可持续性考验。

目前，世界对波斯湾地区的依赖已经引起对突发震荡的脆弱性，这也不可持续。该地区在超过半个世纪的时间里一直是全球冲突的主要爆发点，并将继续如此。在这一混乱中加入里海地区也是美国石油政策的一部分，这将不会减轻该问题，反而因为增加了美-俄冲突的潜力而可能提高核危险。

美国的能源体系在历史上符合前面两个标准——可靠与合理的成本，但最近看上去越来越不能做到这两点，正如天然气价格狂乱摇摆和大多数加利福尼亚人在过去的一年中不得不支付的极端不合理的电力价格所见证的。

切尼计划没有解决这些主要问题。例如，创制全国电网以加速输送由大型发电机产生的电力并不必然强调可靠性问题，还可能使其恶化。由缺乏储备能力引起的低可靠性是加利福尼亚电力问题的主要原因。取消规则引发的一种情况是，电力生产者对维护储量能力不负有责任，而管理者也没有资源做到这一点。

彻底放任自由的电力生产部分对（电力）输送或储量能力都不负有责任，这会提高成本，并易于出现出乎意料的崩溃。这还会提高传送损耗，并有可能使能源效能更低。可靠性要求大型私人（和公共）

电力生产者负责提供或支付对储量能力的维护，并对使电力沿高效、相对可预测的路线通过负有责任。在跨越美国大陆、大规模的（电力）生产中对所有人开放是解决持续经济和技术问题的处方。切尼计划没有提议施加任何规则以（推动）大型电力生产者的良好行为。因此，不可能创制出具有合理和可预测价格的可靠体系。为了获得一个总体可靠的体系，输送能力和位置、储量能力以及消费体系需要与（电力）生产相协调。

将邻近消费者或建在消费者房屋上的小型发电厂结合起来，并将它们与也拥有大型发电厂的地区电网相连接将会好很多。这些系统被称为分配电网。它们可以连接到地区电网系统，这些地区电网系统已经存在并只需稍加改善，正如南、北加州间的情况。地区混合电网的这种体系在很大范围内可以与地区可再生能源资源联系起来。这比创制一个全国电网远为可靠，并在环境保护上可取。

切尼计划在中断了四分之一个世纪之后提出了在美国恢复再处理，建立钚燃料反应堆和建造新反应堆等问题。在未经全国认真讨论的情况下，再处理和钚燃料反应堆会将已在五任总统期间维持在两党一致基础上的不扩散政策变为一纸空文。

而且，核能就未来而言是一种很糟糕的选择，其理由已在能源与

环境研究所的出版物和前几期的本刊物中进行了详细的讨论。例如，在《科学为民主的行动》第 6 卷第 3 期（1998 年 3 月）中，能源与环境研究所发表了有关用核能和天然气代替燃煤电厂作为减少温室气体方法的比较。该比较显示，可接受的天然气价格和足够的天然气供应在转型到仅基于可再生能源资源的长期可持续能源体系的阶段非常重要。因此，明显提高天然气的效率具有实质意义。也可能要求增加一些天然气的生产。这可来自(i)外国减少燃烧天然气和进口液态天然气，(ii)通过与石油无关的矿井增加国内生产，以及(iii)增加从加拿大和墨西哥的进口。

切尼计划会巨大提高石油开采，但它没有有效地强调石油供应的脆弱性。即使所有潜在的新储量，它们现在的经济价值是每桶油约 15 美元，被增到美国的储量中，美国石油储量仍将维持在肯定低于 500 亿桶的水平。（目前证实的储量是 210 亿桶，而阿拉斯加国家野生保护区可以给此总数增加至多 100 亿桶；有人估计要低得多）。

中东据证实的石油储量肯定超过 6,000 亿桶。更为重要的是，石油生产的成本在世界不同地区很不相同，并且是目前体系缺乏灵活性的中心部分。在沙特阿拉伯将石油打出地面，每桶（42 加仑）仅需要约 1 美元，而在其它许多地方（包括美国在内）每桶则需 10 至 15 美

元。既然通过仅在低成本地区提高产量就可能出现向下的价格冲击，通过提高相对高成本的国内石油的供应就无法提升该体系对于经济震荡的承受程度。然而，开放阿拉斯加国家野生保护区可能达到一个目的——石油公司可获得多至 1,000 亿美元的总利润。⁶

能源安全也不会有显著的提升。美国的石油消耗现在是每年约 75 亿桶（每天 2,000 万桶）。如果需求继续以每年百分之点几的速度增加，即使开放阿拉斯加国家野生保护区并每天供应多达 1 百万桶石油，美国在 20 年里仍将进口其石油的约四分之三。这在经济、政治和军事上都将给全球石油供应系统施加重负。这也将增加二氧化碳释放。这不仅不可持续，而且将引发冲突。换句话说，这一政策意味着，许多事实上已在中东-波斯湾-里海-中亚地区持续的冲突将可能更加恶化。⁷

正如上文中强调的，将汽车的效能提高到每加仑 60 到 100 英里的技术在今天已经存在。如果根据与制造商采用新技术的能力相适应的方案而制定逐步严格的标准，汽油的年消费，相对于当前的每天 850 万桶，在未来的四十年里可以被降低到每天少于 400 万桶。这种可能的减少假设将汽车里程加倍。

既然燃料仅代表了使用汽车全部成本中相对较小的部分（虽然在日常层面上是最直观的），将公司平均燃料效能标准一起用于汽车和轻型卡车比收取汽油和柴油税更可取。收取汽油税还因为其最严重地消极影响了中等收入者和穷人而令人遗憾。由于这些原因，通过要求制造商采用高效技术而达到效率较为有效和公平。

历史经验表明，汽车制造商似乎在里程标准问题被提出时才记得安全，而且他们似乎在减少象氧化氮或氢碳酸等有毒气体的释放等问题被提出时才记得里程问题。实践中，他们需要政府采取行动来制定所有三个标准——（气体）排放（二氧化碳以外其它的气体）、里程和安全。所有三项可以而且应该由政府同时管理。事先很好地制定可以达到的标准也鼓励新技术的研究和开发，诸如新的坚固材料以降低汽车的重量并在同时提高安全。⁸

与过去需要有关座位安全带和气囊的法律的情况相同，现在需要公司平均燃料效能标准来迫使制造商在其生产和销售的任何汽车和轻型卡车上采用最好的可获技术。既然对制造商的追踪记录显示：没有政府的压力，他们不愿意采取具体行动，就应该同时制定效能和安全标准。他们似乎在效能标准问题被

提出时最担心安全问题。他们目前对里程标准的抵制是这方面的一个例子。

环境效应良好的技术有合理的成本要求降低许多新技术的成本。美国和其它一些国家的传统方法一直对给替代能源提供补贴和免除税收。这种方法也受到切尼计划的青睐。然而，由于其倾向于封冻高成本技术，而且不能给投资技术开发提供足够的刺激，免除税收和补贴对使可再生能源和高效技术达到持续增长是种糟糕的方法。进一步而言，免除税收太不确定并在政治上脆弱，后者对于投资者来说是不确定的一个来源。

因此，能源与环境研究所建议，取代用免除税收和补贴来刺激新的可再生能源的发展和高效的技术，政府的资源应该用来建立适当的采买政策。⁹如果政府为风能产生的电力、太阳能电力、符合能效标准的汽车，以及与获得合理价格紧密相联的联邦大楼里的配电生产提供一个稳定的市场，那么市场的总体特性将受到积极的影响。每年为这些商品公开招标也会鼓励私人部门的研究和开发投资以降低成本。联邦政府还可以向确立这些目标的州和地方政府提供拨款，就它为诸如污水处理厂建设和教育项目等各

种其它目标所做的。

¹ 迈克尔·克莱尔：《资源战争：全球冲突的新图景》（纽约：大都会图书，2001年）。

² 有关《京都议定书》条款的讨论，见《科学为民主的行动》第6卷第3期（1998年3月）第8-10页。有关温室气体问题，另见该期中凯文·戈内的文章。该期刊物可通过网上地址：<http://www.ieer.org/ensec/no-5/index.html>查阅。

³ R. 布伦特·奥尔德佛尔，M. 莫尼卡·艾尔德里奇和托马斯·J. 斯塔尔斯：“建立联系：有关配电方案互相联系的障碍及其影响的案例研究”，NREL SR-200-28063（戈尔登，科罗拉多：国家可再生能源实验室，2000年5月，2000年7月修订）。

⁴ 公司平均燃料经济标准的有效性和影响委员会：《公司平均燃料经济标准的有效性和影响》（华盛顿，特区：国家学术出版社，2001年）。

⁵ 美国交通部，交通统计局：《国家交通统计2000》，BTS01-01（华盛顿，特区：美国政府出版办公室，2001年4月）表4-23，2001年8月1日网上获取的地址是：<http://www.bts.gov/ntda/nts/NT99/data/Chapter4/4-23.html>。

⁶ 这假设，对于最多达大约100亿桶的可再生（能源）储量来说，每桶的利润是10美元（见<http://geology.cr.usgs.gov/pub/factsheets/fs-0028-01>）。

⁷ 克莱尔，2001年，同上。

⁸ 有关高效汽车、安全性和最新技术发展的信息，见：例如洛奇山研究所的网址www.rmi.org。

⁹ 然而，对现有可再生能源和能源效能建设进行补贴成为这些方案设计中的一个因素，它们应该继续防止这些方案被中止。

六所：麻烦缠身的核燃料循环综合体

Masako Sawai¹

1995 年 12 月文殊快增殖反应堆钠泄漏和火灾之后²，日本将其核燃料循环的关注点从快增殖堆的发展转向在轻水反应堆中使用混合氧化物（混合氧化钚和铀）燃料。混合氧化物计划在日本通常被称为钚-热项目。在快增殖堆的发展主要由于技术问题而受到阻碍的同时，钚-热项目由于地方上的强烈反对而面临巨大的困难。鉴于此，许多人，甚至在核促进者中，支持“一次通过”的方法。³然而，不论是公用事业、日本政府、还是日本的原子能委员会都没有计划来终止它们对钚-热项目的推动。

事实上，作为钚-热项目的一个部分，几个设施正在设计或已经处于运行中。在由于 1997 年 3 月该设施的沥青化工厂发生火灾和爆炸⁴而被关闭了 3 年半多之后，东海再处理厂于 2000 年 11 月 20 日开始全面运行。2000 年 12 月，由于 1995 年事故被关闭的“文殊”的运营者要求福井县和敦贺市同意，它应该向经济、通商和工业省申请安全审议其为“文殊”（反应堆）重新设计的计划。将于 2005 年 7 月完成的六所再处理厂的工程建设正在以加快的步伐前进。

六所再处理厂

为了再处理来自日本轻水反应堆中的乏燃料，日本核燃料有限公

司正在青森府六所村建造六所再处理厂，其金融资助由主要的电力公司和核工业界提供。⁵在大约 380 万平方米的土地上将建造约 35 座大大小小的混凝土建筑。每幢建筑将由地下四层和地上四层构成，这样，该工厂的一半正在地下建造。连接这些设施的管道总距离将达到约 1,500 公里。到 2001 年 3 月底，该厂建筑的 64% 已经启动。由于特别是日本建筑业的次承包系统，约有 1,000 家公司卷入该项工程，约 7,000 名建筑工人正翻班工作。

虽然该工厂仍在建设中，乏燃料储存池已经完工。该池最大的储存能力总数达 3,000 公吨铀或 tU（热水反应堆和压水反应堆乏燃料各 1,500 公吨铀）。将乏燃料运输并储存到该池开始于 1999 年 12 月。到该厂完成时，该池中储存的乏燃料预期将达到约 1,600 公吨铀。

六所再处理厂将使用 PUREX 方法，该种方法将乏燃料在硝酸中分解，并分离出铀、钚和高级废物。该厂每天的最高产量达 4.8 公吨铀，从而使年产量达 800 公吨铀，而每年将分离约 5 公吨的分裂钚。在该厂进行再处理的乏燃料的最大燃耗是每公吨铀 5,500 兆瓦·日·热量 (MWdth/tU)。一天内再处理乏燃料的平均燃耗将低于 45,000 MWdth/tU。乏燃料在运抵该厂前要冷却一年多时间，在其被切割前必须冷却四年多。

该厂的工序

就象日本核循环开发所运营的东海再处理厂一样，六所再处理厂的主要工序也基于法国输入的技术，并以位于法国拉阿格的法国公司康吉玛 UP-3 厂为模型。其它部分基于采自不同国家的技术。

正如第 11 页图表 1 所示，该厂具有以下工序：接收、储存、切割、分解、分离、提纯（纯化）、脱硝、储存产品铀和钚、以及固化（玻璃化）高级放射性废物。在大多数情况下，每个工序使用一栋楼。象切割、分解、分离和提纯等主要工序的技术由康吉玛的子公司 SGN 提供。

该厂是海内外公司技术的大拼图。高级液态废料处理及酸回收技术由英国核燃料有限公司提供，去除碘技术由德国 KEWA 公司提供，铀-钚脱硝技术来自日本核循环开发所、三菱材料和东芝公司，高级液态废物玻璃化技术来自日本核循环开发所和石川岛-播磨重工，而乏燃料储存池技术来自日立、东芝和三菱。

采自 SGN 公司的主要工序的基本设计图由 SGN 准备，而其它由海内外公司提供技术的工序的设计图由日本公司准备。由于日本容易发生地震的自然条件，设计图还必须增加反地震波设计。这样，日本公司因反地震目的而对设计图进行必要的修改和补充，并负责具体设计、制造和设置反地震装置。这一复杂和混乱的过程导致在建设进程

中（如下所描述的）发现了设计的错誉，和许多遗漏或错误部分。

该厂与法国、英国再处理厂的不同在于它将产生 50% 钚和 50% 氧化铀的混合物（混合氧化物）作为最终产物，而法国和英国的工厂分离产生氧化铀和氧化钚。作为一种不扩散措施，日本根据《美-日核协议》⁶被禁止从美国提供的铀中提取钚，而日本的乏燃料大部分包括来自美国的铀。

康吉玛、英国核燃料公司和技术合作

在六所再处理厂的已完成部分于 2001 年 4 月开始用水和蒸汽进行部分试运行，以检测裂缝、破洞以及与管道焊接和连接有关的问题。使用硝化铀酰溶液的试验和试运行以及由此导致的乏燃料在硝化铀酰溶液中的分解将继续进行，直

到该工厂在 2005 年按计划完成。例如，单是切割和分解处理大楼的确认试验而言，就差不多包括了数百万个检测项目，以确认工厂的这部分是否精确地按照设计图建造。

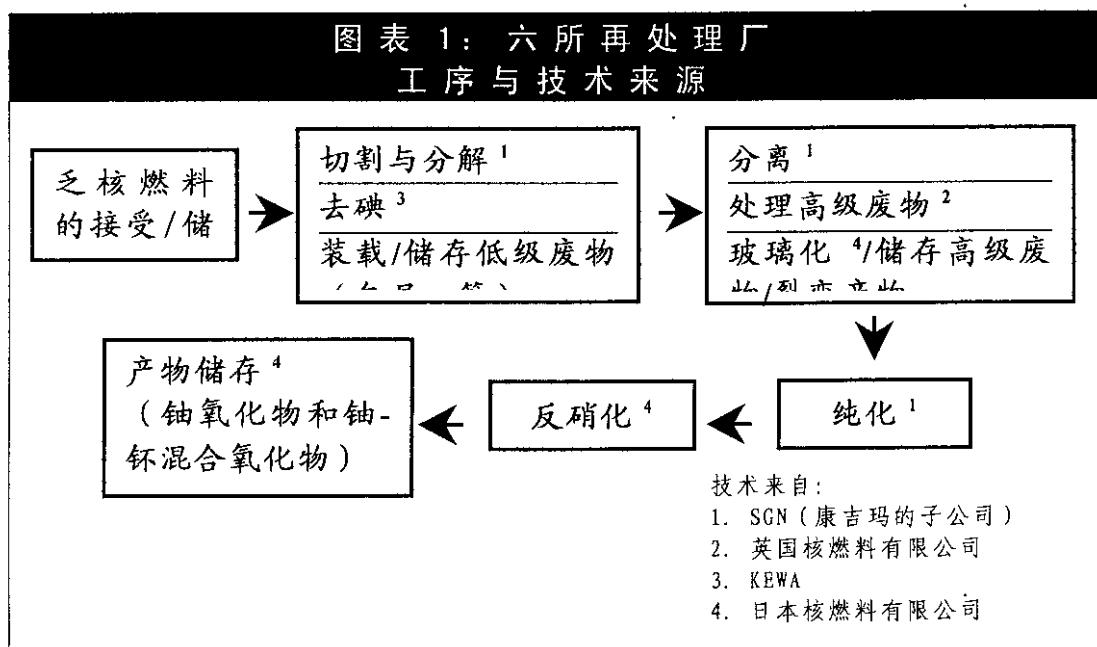
日本核燃料有限公司的缺乏经验以及该厂的技术来自不同公司的事实对该工厂的建造和运作安全提出了严重的担心。2000 年 2 月 26 日《Tohoku 日报》和《To-o 日本新闻》报道说，送入该厂的一个低级放射性液态废物储存罐和 2 个高级放射性浓缩液态废物的临时储存罐由于日立公司职工错看了设计图而缺乏重要部件⁷。例如，高级浓缩液态废物储存罐内侧的反地震支持（系统）就装反了。这种错误是 1993 年起为了降低建造后成本而对初始设计图进行重大改变后在 SGN 公司和日本公司间引起混乱的结果。日本核燃料有限公司很明显对质量控

制缺乏经验，该工厂及其设备的其它部件具有各种问题。⁸

1987 年，日本核燃料有限公司与法国公司 SGN 签署了《技术转型协议》，与英国的英国核燃料有限公司签署了《总框架协议》。日本核燃料有限公司要求在直到该厂完工的试运行期间，康吉玛派遣 50 名、英国核燃料有限公司派遣几名技术援助人员。去年以来，康吉玛的技术人员及其家属已开始到达六所。在六所村附近，一个“法国村”正在建立起来，在那里正特别为法国技术人员修建房屋。

与技术转让相联系，工厂运营者的培训被证明是项严肃的工作。除了在日本核燃料有限公司的模拟再处理设施、日本核循环开发所的东海再处理厂和国内核工业的试验设施之外，日本工人还将被送到康吉玛和英国核燃料有限公司的设施

图表 1：六所再处理厂
工序与技术来源



图表2：历史上和计划中
日本的钚存量
(单位: 公吨)

© 2001 CNIC

中受训，日本核燃料有限公司希望通过这些完成技术转移。在国内设施中的培训是有限的，因为这在模拟或试验设施中进行，或者在使用与六所厂装备的技术不同的东海厂进行。日本核燃料有限公司正与康吉玛磋商在康吉玛的 UP-3 厂中培训其操作工，但该磋商遇到了困难。作为这一安排的一个条件，康吉玛在日本乏燃料的新合同之外还要求每位受训者约 1 亿日元⁹的培训费。两家尚未将该计划定稿。

世界上最昂贵的钚

根据最初于 1989 年提出的许可证申请，六所厂将在 1997 年 12 月完工，但完工日期已经被推延了四次。在 1993 年动工时，完工日期被定在 2000 年 1 月，建设总成

本估计为 7,600 亿日元。1996 年，由于工程拖延，计划的完工日期被调至 2003 年 1 月，建设总成本重估为 1.88 兆亿日元。而后在 1999 年，完工被计划到 2005 年 7 月，预计的建设成本上升至 2.14 兆亿日元（约 200 亿美元）——为最初估计的 3 倍。建设成本据估计到该厂完工时将进一步上升。

日本核燃料有限公司还没有公布将建筑成本上升考虑在内的对该厂规划中再处理成本的估计。据日本自然资源和能源机构估计，在六所的再处理将在每公吨乏燃料上消耗约 3.5 亿日元¹⁰，这将是英国核燃料有限公司和康吉玛再处理成本的约 1.5 倍¹¹。另有更高成本计划的估计，最高的是每公吨乏燃料 5 亿日元。¹²由于德国决定不再继续再处理，康吉玛和英国核燃料有限公司可能被迫降低其再处理费用，并因此迫使六所（厂）昂贵的再处理成本更加不具竞争力。[英文编辑注：这种混合氧化物燃料将比低浓铀燃料至少贵 20 倍。法国的混合氧化物燃料比低浓铀燃料贵约 5 倍。]

根据 2000 年 6 月公布的其 1999 财年（1999 年 4 月至 2000 年 3 月）的财政报告，日本核燃料有限公司的税后赤字达 5 亿日元。该财政报告包括了公用事业为建造六所再处理厂每年分派支付的 125 亿日元，但该分派没有涵盖上升的建筑成本。日本核燃料有限公司正由于继续建造再处理厂而陷于负债，而六所制造的钚很可能成为世界上最昂

贵的钚。

受推荐的混合氧化物厂及其问题

在六所再处理厂的建造取得进展之时，对该厂分离出的钚有可能过多的关注也加剧起来。为了修正这一情况，日本的电力公司联盟和日本核燃料有限公司决定建立日本首座商业混合氧化物厂。

计划要求将混合氧化物燃料制造工厂建造在六所再处理厂的附近。两个工厂将通过一条地下壕沟连接在一起，而混合氧化物粉未来就通过这条壕沟转移。这一大型工厂计划拥有每年处理 130 公吨重金属的能力，并于 2008 年或 2009 年开始运营。象比利时和法国的工厂一样，MIMAS 方法¹³被选作制作工序。总建筑成本估计为 1200 亿日元。

在该被推荐的工厂中制造的混合氧化物燃料的钚浓度在 5-10% 之间。该厂将使用六所再处理厂制造的 50:50 钚/钚混合氧化物粉末作为原料。混合物将通过加入六所浓缩厂储存的用后铀进行稀释。然后制造燃料弹丸并准备燃料棒。

由于混合氧化物燃料的制造涉及到钚，相对于铀燃料的制作过程，中子释放提高了约 10,000 倍，伽玛射线的释放提升了约 20 倍。因此，必须有严格的安全控制，特别是要建立起防护和封罩住放射性材料、热管理和临界控制的措施。1999 年 JCO 东海厂的临界事故有工人死亡，当地居民受到中子辐

射，并迫使该厂半径 350 米之内的居民全部撤离。这一事故在日本公众中仍记忆犹新。

此外，由于不同于英国和法国的混合氧化物厂，这种原始混合氧化物中含有回收的铀，保护工人和公众免受来自铀-232 和铀-236 子核核素的强烈的伽玛射线将提出相当的挑战。与其它混合氧化物工厂相比，六所混合氧化物燃料制造厂承担着必须为防止工人受到辐射而修建防护结构和进行更严格控制的负担。

仿佛是紧盯着该工业的计划，核安全委员会（或核安会，相当于美国核规则委员会的日本机构）为了在今年年底前制定标准，匆忙起草了商用混合氧化物工厂许可证的安全审议标准。而且，审议标准的讨论包括了在 50:50 混合氧化物外可能将氧化物用为原料的议题。如果这一情况变为现实，日本拥有的在海外提纯和储存的钚可能要运回国内，因为根据《美-日核协议》，日本不可以在国内从其大部分乏燃料中提取纯钚。在日本的大型工厂中使用氧化钚带来了严重的安全和扩散风险，这不是可以轻易采取的行动。市民们必须在核安全委员会起草安全审议标准时对其保持警惕。

同时，日本使用混合氧化物燃料的工厂正走入困境。由于英国核燃料有限公司的篡改数据丑闻和强烈的地方反对，到 2001 年 5 月，1999 年秋以来从欧洲运到日本的混合氧化物燃料尚未得到使用。¹⁴公用事

业公司曾计划于 1999 年秋开始在轻水堆中燃烧混合氧化物。目前，本国的反应堆中没有一座已经确定了装载混合氧化物燃料的日期。即使这些计划根据原定目标取得进展，到 2010 年时规划的钚需要将是 30 公吨，相对于规划的供应量 55 公吨——钚有严重剩余。（见图表 2）

日本国内外对日本在国内再处理和制造混合氧化物的计划提出了强烈的批评。1999 年 JCO 的临界事故，混合氧化物燃料的篡改数据丑闻，以及涉及掩盖和操纵 1995 年文殊增殖反应堆事故和 1997 年东海事故信息的其它丑闻已经使日本公众越来越不信任核技术和核工业。政府不顾这些疑虑和地方反对而盲目推动钚使用将面对进一步的推延和困难。

¹ Masako Sawai 是（日本）市民核信息中心（CNIC）的成员，专业研究核燃料循环。她于 2001 年 5 月写作本文。市民核信息中心的盖亚·霍纳将本文由日文翻译成英文，并帮助编辑。

² 有关 1995 年文殊增殖反应堆事故的背景信息，见市民核信息中心的双月通讯《东京核信息》第 51 和 53-56 期。

³ “一次通过”是美国和加拿大的政策。用这种方式，乏燃料不进行再处理。核燃料循环方式包括再处理（为了创造新的核燃料，从乏核燃料中提取铀和钚）。法国、英国和日本采用核燃料循环政策。

⁴ 有关 1997 年东海再处理厂事故的背景信息，见《东京核信息》第 58、59 和 63 期。

⁵ 包括东芝、日立和其它公司。

⁶ 全称是：《日本国政府和美利坚合众国政府关于和平使用核能源的合作协议》

(1988)。

⁷ 日本的前科学和技术厅对此事进行了调查，并于 2000 年 3 月发表了《日本核燃料有限公司再处理设施中设备部件失效的调查报告》。

⁸ 根据《To-o 日本新闻》和《Tohoku 日报》2000 年 11 月 19 日的报道，六所再处理乏燃料储存池的所有冷却循环泵都暂时失效。《Tohoku 日报》2001 年 4 月 14 日的一期报道说，由于乏燃料储存池的通风系统被查出有许多问题，青森府政府拖延了一天才允许乏燃料进入该厂的储存池。《To-o 日本新闻》和《Tohoku 日报》2001 年 5 月 20 日的一期报道说，该厂建筑物一些完工部分的水泥中出现裂缝。

⁹ 在过去的十年中，汇率平均是 114 日元兑 1 美元。

¹⁰ 日本首相对下议院议员 Sumiko Shimizu 提出问题的书面回答，注明日期是 2000 年 5 月 16 日。

¹¹ JAERI-研究 2001-014: JAERI，《对钚循环经济学的分析》，日本原子能研究所（JAERI），2001 年。

¹² 《朝日新闻》（夜版），1999 年 9 月 13 日。

¹³ MIMAS (Micronized MAStEr blend) 方法：在这种方法下，混合氧化物燃料通过混合球状碾磨的钚和铀制造而成。该方法由比利时核机构开发，并也已在康吉玛的 MELOX 厂得到采用。由于混合包括两个独立的步骤，它带来钚同位素问题，引起钚瑕疪的形成。在某些条件下，燃料包层附近出现钚瑕疪可能引发其破裂。

¹⁴ 混合氧化物燃料库存包括 60 个集合或 15.2 公吨热水反应堆燃料和 8 个集合或 3.7 公吨压水反应堆燃料。

日本混合氧化物的最新进展

日本三个安排了装载混合氧化物燃料的核电厂的计划已完全被推迟。首先，1999年英国核燃料有限公司篡改数据丑闻导致了将混合氧化物燃料装载入位于福井县的高滨工厂被推迟。其次，2001年2月，福岛的行政长官推迟了在福岛府的福岛1-3（反应堆中）装载混合氧化物燃料，5月又建立了一个委员会以全面审议该府的能源政策。第三，在位于新潟府的刈羽村于2001年5月27日举行的公民投票中，大多数人投票反对使用混合氧化物燃料。结果，东京电力（公司）接受了该村村长的要求，将原计划在今年夏天的向柏崎-刈羽厂装载混合氧化物燃料的工作推迟。

在福岛和新潟府推迟了混合氧化物的使用之后，经济、通商和产业省长官于2001年6月访问了青森府不知所措的行政长官以向他保证，国内再处理和使用混合氧化物将作为国家政策得到执行。然而，这一访问之所以被计划，主要因为政府和公用事业公司希望确保六所再处理厂作为国内乏燃料的储存设施。

由于地方的强烈反对而推迟了混合氧化物燃料的使用已经对政府和公

用事业公司遭受严重打击。然而，政府和工业界没有直接致力于公众呼声，而是选择了为进一步推进使用混合氧化物和核燃料循环而重新组成其努力。电力公司联盟以及象东京电力（公司）和关西电力（公司）这样的主要电力公司正建立许多组织以推动更好的地方补贴和其它刺激项目。

2001年6月6日，日本核循环开发所向政府申请对其运行的文殊快增殖反应堆的重新设计方案进行安全审议。这家由于1995年钠泄漏和火灾而被关闭的工厂将被重新设计，并在其重新设计方案通过安全审议时重新开业。

2001年6月21日，刈羽村议会通过一项决议，呼吁日本政府尊重5月27日关于使用混合氧化物的全民公决的结果。不要指望日本政府会对此做出反应。

2001年6月28日，（日本）电力公司联盟的自然资源和能源咨询委员会就日本未来的能源政策发表了一份报告。该报告建议建造10-13座新的核电厂——极大地修正了以前于1998年发表的能源政策报告，1998年的报告建议建造20座新电厂。

十三条：

能源与环境研究所关于能源政策的建议

1. 采纳可持续能源系统的标准，包括在其许可证期限到期时逐步淘汰核电厂的目标[除非安全（考虑）要求更快地关闭某些核电厂]，并在以后四十年间将美国二氧化碳的释放量减少 50%。
2. 要求国家科学院成立一个研究热力学第二定律的常设委员会，它将每年评估能源系统，并将就需要何种基础研究以发展远为高效的与能源有关的新技术提出建议。例如，该委员会将就需要何种材料研究以在温度差异很小的情况下提高热交换器的效率提出建议。[关于热力学第二定律的描述，请参见：1998 年 3 月《科学为民主行动》（第 6 卷，第 3 期）的“亲爱的阿琼”栏目。]
3. 制定严格的燃料效率标准，使包括所有客运车辆（包括轻型卡车）的 CAFE 标准到 2040 年逐步提升为相当于每加仑 100 英里。应该同时制定严格的安全标准。
4. 为各种装置制定严格的效率标准。
5. 每年投入 50 亿美元用于联邦购买可再生能源、高能效车辆和先进的能源转换技术（诸如燃料电池）供联邦使用和转售，并每年向州和地方政府提供一小笔费用用于同样目的。
6. 重建联邦和州的产电法规，以使小型电力生产者连接到电网具有合理的规则。由于机构持续性地抵制，配送电网的建立将对社会造成巨大损害，不遵从、特别是故意违反法规应该受到严厉的经济制裁。国家可再生能源实验室 2000 年 7 月的报告（完整引用是第 6 页注释 3）指出，应该通过地方、州和联邦政府的联合行动和有力的强制措施迅速消除配送电网遇到的障碍。
7. 应该要求所有主要的居住和商业房产发展商以及主要的工业方案都评估他们项目的能源影响，并考虑发展他们自己的将连接到局部电网上的地方产电系统。
8. 布什政府应该请国家可再生能源实验室就怎样可以使大型风能资源在未来 20 年中的电力系统中以及在此后 20 年的整个能源系统中（通过生产氢）起主要作用做一项详细的研究。（能源与环境研究所有关风能潜力的描述，见下页。）该研究还应强调美国离岸风能的潜力。
9. 请国家可再生能源实验室就生产和使用氢设计一个指导计划，它将能够对转化为氢经济学的方法做出现实的评估，而氢经济学是建立在可得到的可再生资源的基础之上的。
10. 美国政府应该重申其不再处理乏核燃料的政策，并在其许可证期限到期时遵循逐渐淘汰核电厂的政策，除非安全问题要求个别反应堆更早关闭。
11. 组成一个专项组以研究天然气成为燃料的潜在需要，这将使美国和世界到 2050 年能够转变为可持续能源系统。该专项组将视察可以对环境安全的方法产生无石油连带产品天然气的地方，并研究如何最好地使用这种气体，以减少二氧化碳并在同时逐步淘汰核电。（见《科学为民主的行动》第 6 卷，第 3 期，1998 年 3 月）
12. 美国敦促大石油公司在今后三年内完全中止在诸如尼日利亚这样的石油输出发展中国家燃烧天然气方面起领导作用。与燃烧浪费相反，这些资源应该在那些国家的国内使用，并也可能以降低温室气体释放的目的而输出国外。
13. 所有地方、州和联邦的司法部门都应该要求公用事业公司建立起正当的电力效率计划。[见：阿琼·麦克贾尼和斯科特·塞勒斯卡：《核电骗局》（纽约：Apex 出版社，1999 年），第 9 章。]

大规模风能在美国的发展

切尼计划¹在石油、天然气以及可以使大公司更易于在任何地方生产和销售电力的电力输送基础建设方面深入到十分具体的细节。然而，它对美国巨大的风能潜力没有做任何量化分析。右边表格显示的是依据土地使用专属权，诸如国家公园或人口稠密地区等，在风能潜力方面排在前 12 位的州。其它许多州的风能潜力也相当可观，但由于诸如风速、人口密度、和/或其它土地使用限制等因素结合起来而低于右边列出的各州。

这前 12 个州潜在风力资源的仅约 1.5% 在四十年里将相当于阿拉斯加国家野生保护区的全部石油储量（假设其高达 100 亿桶）。当然，风能潜力在此后将仍然存在，而石油储量将消耗殆尽。

具实质规模地发展风能潜力将要求输送基础设施，以将风力产生的电传送给高压输电线和某些州中一些新输电线通路中的基础设施。短期内最方便的方式也许是将怀俄明、蒙大拿、新墨西哥州西部、以及具有很大风能潜力的中西部州与东部连接起来。

有关风能更多的信息，见能源与环境研究所 1999 年报告：《风对钚：对风能潜力的研究以及离岸风能与日本使用钚的比较》。这一报告的纪要可见于《科学为民主的行动》第 8 卷第 1 期（1999 年 11 月）。

¹ 也称作：《国家能源政策：国家能源政策发展小组的报告》（2001 年 5 月）。该报告可在网上获得：<http://www.whitehouse.gov/energy>。

风能潜力，前 12 州 (说明土地使用专属权的原因)		
州	年电力生产潜力，十亿千瓦小时电力	占美国电力总产量的百分比 1999 年 ^a
北达科达	1,210	32.8
得克萨斯	1,190	32.2
堪萨斯	1,070	29.0
南达科达	1,030	27.9
蒙大拿	1,020	27.6
内布拉斯加	868	23.5
怀俄明	747	20.2
俄克拉何马	725	19.6
明尼苏达	657	17.8
爱荷华	551	14.9
科罗拉多	481	13.0
新墨西哥	435	11.8
总计，前十二位	9,984	271
总 ERCOT (得州)	~1,000 ^b	
西部相互结合的总数 (大致上至蒙大拿-新墨西哥南北一线)	~2,700 ^b	
东部相互结合的总数 (南部 48 州之其余)	~6,000 ^b	

来源：《美国比邻各州可获风地区域和风能潜力的评估》，太平洋西北实验室，1991 年，引用于美国风能协会，“关于风能最常见的问题”，可通过网址<http://www.awea.org>获得。

表格中的注释：

- a. 1999 年的电力生产=36,900 亿千瓦小时电力。
- b. 由于地区没有严格对应于州边界，相互结合地区的总数为约数。ERCOT (得克萨斯的电力可靠理事会) 包括得州的大部分，但不包括得州狭长地带的一部分。传输目前在相互结合地区内得到协调。风能总数仅包括所列各州的风能潜力。如果未列各州的潜力包括在内，风能潜力总数将更高。离岸风能潜力将在所有三个地区提高总数。

亲爱的阿琼：

我经常听到的这些 PBMRs 是什么？它（的英文缩写）听上去象花生奶油糖柜台，但我知道它与一般在自然界发现的物件，如卵石和灌木等，有一些关系。您能帮助我吗？

巴弗莱德·贝塞斯达

亲爱的巴弗莱德：

PBMRs 不是糖果柜台，但您有部分说对了。它们确实含有花生奶油。PBMR 是成人食品：它是以朗姆酒镶边的花生奶油。

一天晚上，核设施的几个代表吃了太多的 PBMR 的镶边。结果，他们变得十分兴奋，开始以缩略语为戏，并大谈一个确实很妙的话题：核反应堆。起初，他们想称之为：卵石灌木模式反应堆，因为燃烧元素很象灌木上的圆形果实。但那是最后投票或诸如此类程序之前的称呼。所以，现在 PBMR 代表卵石层模式反应堆。该名词的印度版本是 PBNMR，或者说卵石层的钉子模式反应堆（只是开个玩笑）。巴弗莱德，我给你的建议是就称它为卵石层，并尽力记住这不是在乱石丛中一条干涸溪流边的露营。

PBMR 字母的一种变更法是 MPBR。这是由麻省理工学院和能源部爱达荷国家工程和环境实验室组成的联合研究小组的称法。能源部已经委派上述后者为政府商用反应堆研究和开发方面进行努力的牵头实验室。

象大多数新的反应堆主意一样，PBMR 是旧反应堆观点的借尸还魂。（你所听过的所有反应堆，以及然后在四、五十年代被虚构出来的一些。）在这一例子中，旧的观点是高压气体反应堆或 HTGR，然后一种模式版本就被提出，当然就是所称为的 MHTGR。如果你购有能源与环境研究所的一本书《核电骗局》，你将在其中看到对 MHTGR 的分析，其中包括安全问题。但是，亲爱的巴弗莱德，如果你身无分文，我可以免费送你一本。或者你可以在我们的网页：
<http://www.ieer.org/reports/npd7.html>

PBMR 是 HTGR 的
变形

上只读一下该书有关 HTGR 的整个部分。你也可以在能源与环境研究所网页上（访问我们的网上教室于 <http://www.ieer.org/classroom/index.html>）学习一些十分有意思 的核物理学和核反应堆基础知识，以防你在这些日子看到反应堆这一行如此之热、政治上得到认可以及所有这一切（但那并不保证你能赚钱）而想要进入这一行。PBMR 是 HTGR 的变形。

HTGR 用不活泼的氦气冷却。它们用石墨作为减速剂（代替大多数现行核反应堆中用作减速剂的水）。石墨也被用于用水冷却的切尔诺贝利型（RBMK¹）反应堆，和使用二氧化碳气体冷却的英国高级气体反应堆。有些石墨减速剂反应堆使用略微浓缩的铀燃料；而其它的使用天然铀。对于不同反应堆类型的描述可以见于能

源与环境研究所网页：<http://www.ieer.org/reports/npd-tbl.html>。

一个大型的 330 兆瓦电力的 HTGR 已经在美国建造

——在科罗拉多的圣弗雷恩堡反应堆。这在商业上是个失败，并于 1989 年被关闭。它日常性地面临运行问题，并且被迫停止运行率超过

60%。它生命期内的生产系数仅为 14.5%，而象核电厂这类基本负荷电厂通常设计的生产系数为 75% 或更高。PBMR 支持者的成本估算采用 90% 的生产系数（见：例如安迪·卡达克的报告 <http://www.min.uc.edu/nuclear/kadak/sld051.htm>）。

PBMR 的设计者声称已经从经验中吸取了教训。在 PBMR 中，热的氧气直接推动涡轮，减少水-石墨接触的机会。然而，有第二个水循环。该水用于在氦气被送回反应堆前将之冷却。由于 PBMR 的设计效率较高，用水将比轻水反应堆低。

有关南非的 PBMR 促销网站，见 <http://www.pbmr.co.za/>。

PBMR 使二氧化铀燃料覆盖上碳化硅和焦炭。该燃料将被制成细小的颗粒，象细沙粒，被称为微型球。在 PBMR 中，一个较大尺寸的容器——直径 60 毫米（略少于 2.5 英寸）——充满了这些燃料颗粒。这些燃料球连续地流过反应堆，并与被用于减速剂的石墨制成的球混合。每个反应堆核芯中有 360,000 个燃料球或卵石，每个燃料球含有 11,000 个燃料微型球，这样

ESKOM、英国核燃料公司和其它公司正设计一个将在南非建造的实验 PBMR。

每个 110 兆瓦的反应堆就总共有 40 亿个微型球。根据提出的设计，将有中子吸收球和六根控制棒。每年将有约 1/3 卵石从反应堆中撤出。这些数据应用于麻省理工和爱达荷国家工程与环境实验室考虑中的设计。

英国政府拥有的英国核燃料有限公司及其公司伙伴以及南非国家公用事业公司 ESKOM 正在设计建于南非境内的 110 兆瓦电力的 PBMR 的过程中。这将是个实验反应堆，国际合作者希望它将成为大规模出口业的基础。那一工厂拥有的电力输出量将相当于现在常有大型、轻水反应堆的约十分之一。因此，使用这一术语“模式”。

PBMR 看上去是核工业界销售新型、先进、“内在安全”的反应堆的最新尝试。这是一个本质上误导的术语。没有商业 PBMR 事实上已经建成或运行。根据 PBMR 的推销者

(http://www.pbmr.co.za/2_about_the_pbmr/2_8ba_cjgriybnd_to_the_pbmr.htm)，一个小型的德国

试验性反应堆运行了 21 年，并以 70% 生产系数运行。HTGR 的经验明显（良莠）混杂。美国的一个大型 HTGR 圣弗雷恩堡反应堆有相当多问题，并被提前关闭。二十世纪九十年代提出 PBMR 以作为可能用于废物嬗变的反应堆。（见《科学为民主的行动》第 8 卷第 3 期，2000 年 5 月，关于能源与环境研究所嬗变研究的描述。）

国家科学院国家研究理事会 1996 年关于嬗变的研究提供了与使用 PBMR 有关的安全问题的分析。由于操作条件和燃料不同于建议的 PBMR，该安全分析没有直接运用。然而，值得强调的是，该研究得出结论：“在其概念研究的这一阶段，几乎没有关于 PBMR[卵石层模式反应堆]的安全特征、其主导的风险系数或其对环境影响的信息。”该研究进一步声称，“不清楚[卵石层模式反应堆]核芯将如何反应于可能打断氦冷却剂流的事故。²”

被认为在被推荐的 PBMR 中与安全有关，并由此受到更严格的检测的成分比重仅约 15-20%，相对而言，轻水反应堆中在 40-50% 之间。检测的数量较小可以使工厂运作的成本更低，但这也可能使之更易出现事故。三里岛事故始于一个“无关安全的”组件，冷凝系统中的一个阀门因疏忽而被关闭了，那是一年中第十九次那一系统中的无关安全的组件引起了反应堆跳闸。由于它是“无关安全”组件，它就不经过检测。如果它是有关安全的组件，它就会受到检测。

PBMR 的设计在避免金属熔化型事故的同时，失去冷却剂仍然可能引起严重的放射事故。PBMRs 将含有石墨，它在丧失氦冷却剂后如果空气进入核芯会引起火灾。而且，涉及到破坏氦和水循环分离的冷却剂丧失事故将引发蒸汽-石墨反应的风险，这一反应产生一氧化碳和会提高火灾危险的氢气。

总的来说，特别是针对其设计，PBMR 具有其自身的安全脆弱性，不应该被称为“内在安全”。注意，PBMR 支持者仍然要求政府根据普莱斯·安德森法案给他们的反应堆提供保险。真是对其内在安全性有信心的真实表现，巴弗雷德，你说不是吗？

如果象所推荐的一样建造反应堆而没有次级制约，这尤其是由于其设计，PBMRs 可能导致大量释放放射性。如果有任何安慰的话，产生每单位电力的反应堆核芯中的放射性数量低于其它反应堆设计，因为当新的燃料卵石被填入顶端时，燃料卵石不断被移出反应堆储存起来。这减少了可能在严重事故中释放的短周期放射性核素的储量，诸如氙-133 和碘-131。如果次级制约象它应有的那样加以要求，110 兆瓦模式反应堆可以具有经济效益就十分值得怀疑。很重要的是要记住，次级制约是防止三里岛事故释放使其在规模上与切尔诺贝利（事故）更可比拟的巨大数量的放射性的唯一特征。

MHTGR 比轻水反应堆更经不起恐怖主义袭击（见《核电骗局》）。不清楚 MHTGR 的这一脆弱性是否也适用于 PBMR，因为未获具体设计。

相较于当前的电力反应堆，PBMR 使用浓缩到更高程度的燃料。已经得到推荐的是 8-20% 范围间的数值，而前者是目前常用的。在这种 8% 的浓缩铀不能被用来制造核武器的同时，用 PBMR 燃料来制造核武器将比用轻水反应堆燃料（浓缩程度小于 5%）减少很多工作。

在今后四十年左右的时间里将需要约 20,000 个 PBMR，以对全球电力供应做出贡献，这将对二氧化碳释放产生实质性影响。假设反应堆开发需要十年（非常短的时期，考虑到还没有建成），在此后的三十年里，每天差不多有两个反应堆动工建设。对如此之多的反应堆进行质量控制和规范实质上不可能。而且，如果在闹哄哄的建设阶段开始了一、二十年之后发现了 PBMR 的某个设计问题，改正这个问题在经济上就变得不可行。

用于 20,000 个单位的燃料产量每年必须有约 25 兆亿微型颗粒。怎样对如此巨大供应量的相对新奇的燃料实施质量控制是 PBMR 的关键问题。在此背景下，值得指出的是，主导 PBMR 管理的公司之一是英国核燃料有限公司，这一由英国政府所有的公司已经承认，它送往日本的一些氧化钚-氧化铀（混合氧化物）燃料伪造了质量控制数据。

最后，有许多与 PMBR 废物有关的问题。在 PBMR 会降低每单位电力生产的废物量的同时，仍然会有许多将导致引起与处理长周期放射性废物相似的问题。而且，PBMR 包层燃料的碳和碳化硅与储放地环境的相互作用尚未进行任何细致的研究。

虽然有大量问题与目前这群反应堆所产生的废物有关，布什政府和核工业界看上去决定在废物将处于何地未经社会认真争论的情况下就鼓励订购新的反应堆。即使尤卡山获得许可证，根据法律它也被禁止接受超过 70,000 公吨的乏燃料，并无法容纳大量的新的核废料。

总而言之，亲爱的巴弗莱德，我得出结论：PBMR=MBPR，其非数学性解释就是：如果我们推行卵石层模式反应堆，社会可能处于真正的困境。

你诚挚的

阿琼，即秃顶博士

能源与环境研究所要感谢关切世界事务的科学家联合会的戴夫·洛克保先生，他审核了此封回信的草稿并提出了许多有价值的建议。然而，“亲爱的阿琼”栏目对此信的内容负责。

¹ Bolshoi Moschnosti Kanalynyi “槽引型大型电力反应堆”的俄文缩略语。

² 国家科学院国家研究理事会的地球科学、环境和资源委员会：《核废物：分离和嬗变技术，分离技术和嬗变系统委员会》（华盛顿，特区：国家科学院出版社，1996 年），第 292 页。

堪 错