

# 能 源 與 安 全

能源与环境研究所出版 美国华盛顿 一九九六年第一期

## 在本期内：

核电及其在全球电力和 能源中的作用	10
矿物燃料和核能比较	13
书目摘要	17

## 作为能源的钚

——阿琼·麦克贾尼

在过去短短的几年中，美国和俄国由于拆除过剩的核弹头而囤积了大量的钚和高浓缩铀。这些过剩物质在世界范围内再一次就把钚作为能源这一问题再次引起争论，并为继续援助正在实施中的钚项目提供了新的论据。本文将回顾与钚使用有关的基本事实，并就此问题作出一些成本和技术分析。

### 铀和钚的基本常识

事实上，铀-235 是唯一天然存在的裂变材料（即可以维持链式反应并可以驱动核反应堆的矿燃料）。然而，铀-235 在天然铀矿中仅占 0.7% 的比重，其他部分几乎都是另一种同位素，即是不能维持链式反应的铀-238。

但是，尽管铀-238 不是裂变材料，它却可以在核反应堆中转变为可裂变的钚-239。这一特性使得核能的提倡者把铀-238 视为核能未来前景的关键。实际上，人们可以设计某种反应堆，使其在发电过程中从铀-238 产出的钚形式裂变材料要比所消耗的来得更多。这种类型的反应堆被称为“增殖反应堆”，而铀-238 就被称为“增殖性”材料。核能的提倡者已用“神奇的能源”来形容增殖反应堆电力生

产系统，因为该系统在生产结束时拥有的燃料数量多于其在 [1] 生产开始时的所拥有燃料数量。

在 50 年代和 60 年代，铀被视为一种很稀缺的资源。科学家们的基础量大系统被视作需要核电反应堆的资源。为了解决这个问题，他们曾以系统对铀的使用效率低。例如，一座由一台轻水反应堆（最常见的核反应堆）组成的 1,000 兆瓦 [2] 的电站在其工作年内大约需要 4,000 公吨的天然铀。而相比之下，同等规模的一台增殖反应堆则仅需要 40 公吨天然铀。这种理论上的对资源需要量

[1] 另一个相似的燃料生产过程是将不裂变的钍-232 转变成裂变的铀-233（这种物质在自然界中并不很多），但是铀-233 增殖反应堆的开发还远未完成。甚至比钚增殖反应堆更多的技术问题也尚未解决。有关核发电反应堆更多信息，请参阅阿琼·麦克贾尼的《核电厂》一文，能源与环境研究所，马里兰州，塔科马公园市，1996 年出版。

[2] 除非另有说明，有关反应堆容量的数据均为兆瓦为单位。假设该反应堆的工作年限为 30 年，容量为 70%。数据是从约翰·R·拉马什的《核工程导论》（第二版，艾迪生·韦斯利出版公司，1983 年）一书中以四舍五入法引取的。

## 从反应堆到核武器？

- 在长崎爆炸的原子弹的钚核只有成年人的手掌心大小。
  - 目前分离出来的商用钚的数量足以制造 20,000 到 30,000 枚粗糙但却极有威力的核弹。
  - 到 2000 年，民用反应堆分离出来的钚的总量预计将达到世界核武库中的钚的总量。

观建环它能在困  
理设治、的，是  
的核政起上，上  
堆的济、外汇之现外险  
应球经基是，在冒  
反全术，已坏上，是  
殖着术，实在险上，  
增励技，立经济危事  
持鼓是，事建在是军  
点设，境们源环难  
支旧但军使系统上，在  
和将系统境的，

技术和经济并发症

冷应的罗德了。今  
钠反要俄和费究至  
于子主、本花研术  
中中的国、日经的技  
集快发美、已技该  
将称开括度、已技该  
论(亦已包印家)该而  
讨堆业、国多用然  
增种堆、英许元证。  
本文反是反国、的美论  
却堆增斯、殖法内化和  
却增斯、在百发

[3] 有 关 核 能 源 会 “非 常 想 在 50 年 后 以 实 际 便 利 法，致 于 上 核 正 所 不 是 工 便 报 告 《核 能 的 骗 局》。

至殖总34电增总有材反净甚增的世界核。电没变殖的它和堆世而%。核也裂增料段，力应占12%，占了且的止，材料阶电反仅0.8%，只产而观为变化产殖瓦的又生分，可前裂化业生增兆量中只部量目是商业地到。总量仅一数到直靠不2,600电电不的数，一达可做为核总堆少出上，一未度都约瓦界应极生际可能，尚适料量兆世反中产实堆耗万在殖量净料。应消

他用。主的程  
其使料堆坦等  
外，都燃应斯中  
以堆为反克用  
本反钚冷哈则  
日本和殖用钠铺，在  
国增难BN600缩现  
法的更浓堆铀，  
了数是的高反缩铀。  
除多不斯用反缩铀，  
绝铀俄要BN350度的浓

增殖反应堆的设计和运作会由于许多问题而陷于困境：

堆制临堆使应  
应控速应他反  
去快反其的  
水失“殖和应  
轻应或增堆反  
比反制速应式  
堆核控快反链  
应为去在水行生。  
殖，全现在子容  
反因失象轻进发  
增完的比中更  
难括)要慢中更  
更(包”中用堆

· 钠，尽会与水发生剧烈的化学反应。操作时必须小心，以免发生爆炸。钠与水接触后，立即产生氢气，并放出大量的热，因此在处理钠时，必须严格遵守安全规定，避免发生危险。

题。例如，空气和水汽绝不得进入两个必要的钠环里。

• 把钚作为燃料用到繁殖的安要增加这多风险，更多需要安全堆应增加反应堆中水轻障，保全求金。

• 由于钚有较强的放射性和  
要求更高的安全保障，钚燃料的  
生产成本大大高于铀。

其用环一  
使费和下  
以的全在  
使环一  
处理)安将。  
堆中提  
取处多题  
论)。再许  
堆(再许  
堆来问中  
题讨论)。  
从反应  
堆中提  
取处多题  
论)。再许  
堆(再许  
堆来问中  
题讨论)。  
用反  
应堆  
中提  
取处  
多题  
论)。再  
许堆  
(再  
许堆  
来问  
中题  
讨论)。  
新高  
问题。  
源与  
安全  
全》。  
而且  
(再  
许堆  
来问  
中题  
讨论)。  
重较  
境期  
《能

- 由于发生灾难性事故的采取消防措施必须以此类失火为重，所以更严重，更险果。

成反、被阶12而不建和应造斯  
额殖国、已究年故站有国反建罗于  
巨增美或研1995事电没英殖仅俄由  
的数在堆的1995漏该还。增度。划  
过多止。应平于泄内国划洲印厂计  
论大终反水由钠年法计欧，电的  
讨绝或类低也的几前的“止，验的  
述题，停到划站计当堆了为实堆  
上问暂国，回计电预作。反中迄型反搁  
于作已英退的”挫。工殖已。小殖而  
鉴操现和或本殊”挫。工殖已。小殖而  
和堆国弃，日“重重新国计个增金  
本应德放段。月严会造德堆了建乏

过本用反年理成费的 60 言，价处着的料、而实再在堆燃比 50 般的堆、存应作量一铀了。堆中反铀储量多，是下趺了。反应产殖用的得年是增仅铀大十年而增料题，于，要几涨于燃高且的的上殖生程和已应代在格由钚技术大堆估过不和技大堆。计去是

而且，在过去的10年中，开同的现市价现  
货市场价格(一定时间内公合铺)一直大低每公斤  
市场价格例如，1990

同值铀的数  
合价斤。量堆数。  
是元公间求应造  
只美每元需反建  
这一年，美是核的  
一一995年40因的划  
美元(按过去20分  
元几至原造计先  
半在部已原于少  
30为一过在价的为  
价格的)。货低大  
货价计算的价减量

### · 钯的价值和成本

增但燃并堆应分堆的反约的裂被  
以，一种他应反三应里水有钚的以  
起统一其反水到反棒轻含里中可  
设力为和的轻一是棒那堆是  
建电作堆钚座之钚料且常。应它  
未的钚应出一分些燃而通素反但的。  
还基础把反殖何四这从的棒同于多燃  
国基能水增如有钚中生料变用得作  
各为可轻来论量于程产燃裂比少用  
管堆然到用无能之中乏钚然要来  
尽应仍用计的取238中的虽料出  
反们运设去中一作堆%量材取  
殖人料非中堆之运铀应0.7%数变提

是变变以来左同堆不裂裂平堆%并-在物乎核有的反应的。钚水应的，铀计反平式是合化似为是多数运加设水平形要混的样，作以235在轻计物(主要混)这样钚可以绝纯钚-保多于氧化物-235)堆，也持数设计化(主要混)。堆，也必须大低成化物-235)堆，也然成总必绝在制氧的一燃料种”料”。堆，也用过约0.2%成燃反燃殖一种燃料和起，“MOX增堆的便应的。被材料位一保持被铀约来“MOX增堆的便应的。

看但败，成一比表来  
来的，失值制这以发堆课析  
点确是价、把加年应一分  
观正却济工，并用1995反这的  
的是它经加，费1995种对立  
学上言，实把费的院何，独  
理理论而的虑的料科学选择报告尽  
物理而的虑的料科学选择报告尽  
从在度环考需燃料选究详  
管点角定须所他家于研为  
尽论济判必料其国关的最  
一经济要就燃同国份环了  
一经用用美份环了  
这从的。我有费较的处作

估计斤缩)假可的的和更无化也年约使高的合于氧含  
告值公浓度元。说剩料(1992收料以氧,每大个者年混高合包  
报价每低%是过燃元税燃可合费堆出整后理能混并  
的元是造4.4%就得物美括物钚混料应高其比1992处可为性  
1,400(也获化使用反用在要(按,也因射钚  
科年铀加堆公得划合斤中合着部年瓦费者成美而用,放留  
国家1992然么反为费器造每),意座堆1,000料内,万算的具倍  
国照定天那物约免武么为费器制每准<sup>[4]</sup>。意座堆1,000料内,万算的具倍  
美按假元化用以核那约元费成得核一铀万命4价物铀废两  
计算,55铀的定以钚费用可从,用美险的取的比用1,500寿约元化理物出  
要使1,500用出美氧处化高

对(即设价化们本再用  
相下假场氯我成为使几  
格件又市合当,因其加  
价条件而货混的。去大,在增  
的的取现用的。堆再  
铀利获的使经济进更堆再  
要有偿前),经虑会应本  
只最无当是用甚座料  
显,在以出条然费距每燃  
明使可高的仍理差使的  
很即身要多料处的会内  
低本价许燃再间理命元。  
较钚铀格物把之处寿美

田成法此代价的无价值，从高样倾向更严重，比更一价倾严，石油出经济的是石付象经散也，提取要岩的扩却，提需页料种，中油油燃某化，岩石得为有量，从提才使作还以于中本具外，虽然价。

**以 1995 年 美 元 价 值 计 算 的  
铀 矿 石 合 同 价 格**  
(所 有 数 据 均 四 舍 五 入)\*

年份	价格	
	美元/公斤	轴
1950	100	
1960	50	
1970	90	
1980	60	

\* 已用生产者价格指数将目前的铀  
价格折算成1995年的美元价格。

## 扩散的危险

来不于会已理危存约理仍钚将产长扩缔以核措  
出有用员验处散钚条处为用这生从不，和效  
产具可委试后扩业际再行军，料；核判定，和效  
生比，仍能的的重商国使一了言，谈判《规谈竞赛  
已相它子功续的了即这加期变的损<sup>6</sup>寻备采  
同钚但原成连离害。增期裂效第寻军上  
钚的分，国次。生分损务的长短重约地止题  
美一点产分义目仅从严约诚止题  
用器组美一获加军业仅停有将该“日的  
民武素药行这已增裁商为富它，诺早关  
管造位炸进了钚益的于视库球的，诺早关  
尽制同核年明用先日定出被的全行看，约承与有”  
于的造1962证使首日定出被的全行看，约承与有”  
用同制经和险量所钚可材破而远散约便裁施

钚-239 和 铀-235 每次裂变释放出的能量大致相同，所以理论上

裂变材料钚的燃料价值也应是

历史上全世界钚存量一览表  
(公吨\*)

种类	1945	1950	1960	1970	1980	1990	1995
军用钚**	0.1	2	45	130	210	265	270
商用钚	0	0	0	6	185	650	1,000
未分离 商用钚	0	0	0	1	145	530	805
分离的 商用钚 <sup>†</sup>	0	0	0	5	40	120	195
总量	0.1	2	45	136	395	915	1,270

\* 所有数据均四舍五入为一个大的数字或最接近5公吨的数字。总量一排数据没有再进行四舍五入。

\*\* 除美国外，其他国家都未公布过其历史上军用钚产量的数据，因此除美国以外的其他国家的军用钚产量是估测出来的。我们曾推測1990年和1995年俄罗斯的军用钚产量为150公吨，但最近来自俄罗斯的消息显示，其军用钚数量还要少些，约为130公吨(四舍五入)。

† 只有那些目前还在进行再处理的国家，即法国、英国、日本、俄罗斯和印度，才拥有分离出来的商用钚。此外，有些国家目前虽未后处理，但与法国和英国签有后处理合同。因此，它们也有相当数量的商用钚。这些国家分别是德国、比利时、荷兰、意大利和瑞士。美国也有相对少量的商用钚，这是由位于纽约的西谷后处理工厂生产的，该工厂已于1972年关闭。

资料来源：阿琼·麦克费尼和斯科特·塞莱斯加的《核电的欺骗》，马里兰州塔科马公园市，能源与环境研究所，1996年。

每公斤5,600美元。但反应堆级的钚中还含有非裂变同位素，这使得其价值降至每公斤4,400美元。<sup>[5]</sup>而6到10公斤反应堆级的钚便足以制造一枚核弹，这样一枚用钚制造的核弹的燃料价值在26,400美元到44,000美元之间。而在一个以制造武器为目的的潜在的黑市上，钚的价格无疑要的比这高得多。钚被转移到黑市上的危险在俄罗斯特别突出，在那里，中央控制的削弱，加上团伙犯罪的加剧和经济条件的恶化都增加了钚被转移到黑市的机会。

### 长远的能源问题

[5] 典型的轻水反应堆乏燃料包含约0.2%的非裂变钚同位素和0.7%的裂变同位素。

目前，就解决短期和中期能  
源问题而言，使用钚会遇到许多  
经济上的问题，这一点是非常明  
确的，也不存在严重的争论。但是，  
支持把钚作为一种能源的人则从长  
远的能源需求出发，认为这可以作为  
一个理由，以建设和维持用钚作燃料  
的基础设施。

据当前的估计，每公斤80美  
元的铀资源(这一低价格仍是混  
合氧化物燃料所无法竞争的)约  
有330万公吨，足够在现今核电  
生产水平上作为一次性燃料使  
用约50到70年。这一估计还没  
有考虑由于价格上涨而引发的勘  
探开采热潮。石油和天然气的开  
发历史具有启迪意义。1973-1974  
年这类产品价格的上涨是石油  
输出国组织采取限产和定价政

激数现油呈除起  
刺国子的直间一估  
扬出致年一时格的  
上输以1974也段价源  
的油增19格一油资  
格石猛于价有石铀  
价动量低的代随对  
而活动应格铀年曾前  
然测供油价(70价目  
致。勘油油上，且低。  
所新和的实趋时而偏  
策了量在价。下外，扬可  
能

无论人们如何看待核能的未来，现在就投入巨资把钚作为

意用在无好全投的的能  
大利事。更安如料持高  
多济的就以与域，燃支提  
有经后环可境领作为于  
没的以用本环的量助用  
是在使金的率物辅或  
用潜下资好报生气、  
使何几件些较回或然厂。  
使任何几件些较回或然厂。  
燃来是条这有高气天电率。  
料环将乏因于较然以发效的  
种的，早金义，投点以电阳利  
一义最资意地特于发太源

社论：能源与环境研究所在处理钚方面的建议

——阿琼·麦克弗尼

反对使用钚的许多经济、技术、环境和安全方面的论据并未

能坏期者俄况大  
种得长倡括情巨  
一觉挥提包及着  
是仍发的中以挥  
坏们中坏其国发  
为他济些家，英还  
认服，经这国日本，  
地信源且，性日美国，  
热人能且，而键国、的  
狂的界。关法一点  
些藏世用些法一响。  
那宝在作一斯好影  
使源将的在罗稍的

### 弥合美俄在钚问题上的巨大分歧

竟在观经比总博为1994，虑会的相机钚的部意物应  
究存的和人，和斯视1994论考是用用些在方源的化反  
钚上府源人利本钚院结入还费费一们官能烈氧力  
在题政能导菜吉的学出收钚损的有它斯括强钚电  
人问斯的领奥·求科得年用亏钚有罗包种-  
导的罗要国·H·需家告的使纯化也会俄国一有  
承担俄重美尔·美尔·美尔·美尔·美尔·美尔·美尔·  
兹翰事国报力中笔璃国协与美在现  
国负歧.种多兹翰事国报力中笔璃国协与美在现  
两是分一许黑约军国究电堆这玻美核点在存钚于  
俄还的是而长问出美研电堆这玻美核点在存钚于  
美富本钚藏源学把1995把在敷大当例上而仍求料  
财根是宝能科则负1995把在敷大当例上而仍求料  
是着点济如统士，一与即进入数当构，问接在见混

[1] 参见诺厄·萨克斯的《重陷回收之险》，能源与环境研究所，1996年1月出版。

堆。俄罗斯领导人也已表达过类似的看法。

长将期数造表现也). 结安达把核机素将  
钚以远多制已钚来文一的以在造种因时,  
决可同大料都铀, 将正这迫可现制某散需  
解却题绝燃告价的(见意紧们即来立扩需  
能们问来. 与报廉见源同和人, 用建不所  
不我源开理预能所价, 共法时和确用  
还但能离处研富可的研究铀为本无同济而以  
天题的分再研富在济研的认本无同济而以  
今问题了立丰在济研的基种, 变加  
们值中问题独有并种环便我个一式, 来改源  
我价和源考的于是一与虑样化的当大能  
的期能真本由不是源鉴顾这转器在生作  
远短的认成明, 在不能论. 全成钚武制, 发钚

关于钚在短期和中期内的处理问题，我们有两点主要建议：

存的再  
材料用  
材用和  
用器用  
武器军  
止生包  
制有厂  
增加工  
的再处

通裂是坏们采取以关制看人采  
可有机来的议  
府论些远源建  
政讨这长能们  
斯来题。从的我  
罗制问题为值的。行动:  
俄机源认价立补充  
和些能些有建补充  
国某的那极而种  
美立料除种虑两  
创材消一忧下如  
过变为是的如

· 建立用于反应堆的铀燃料国际储备，以此作为一种手段来

确保长期得到价格合理的铀供给。这一储备可以来源于过剩的军用高浓铀。

组新便财使俄  
小重较供旦时，钚。  
门中取提一择，经济选择  
专态获动，经济选择  
正的状而行式，经济选择  
公化电一方较可  
璃发这种比就  
一个玻了向这得  
从为可过变政  
如果是一料，燃料其他  
查取的保钚  
审提宜政用罗

有关并去。活动缓解忧虑，下类能够的内将障。此继续应期本保障。近日本政和财金欧盟和玻瑞美提供许核

钛的玻璃化

造成形法混中为的的量提圆炼以获制变的方液器即杯点含或瑞提可新性度例厂置变放含种人不衷料在射于转器种熔容程中分的窃玻断就重数强，工混裂的些这果就折材装放用其武一瑞属过体百杯偷的重程被扩高品理品的命那，如话，种他，度窃被将核的玻金一柱个中被存中过于抗有制处制线致窃而得的一其起强被不要造的入这圆几体于贮璃的难的具料再料射道偷然使杯价同一高易杯必制目量倒。璃至柱要玻杂更强同材的材马一敢体也取代杯在有不保有来一柱其变前变伽了不柱法提的将合具之保大将柱圆化是瑞之加量很使增加量很了具将裂以裂射供人们圆方法新高是混作使确们用这与瑞以玻使增数要了此以裂或合发提瑞的重更法制中为器，不能现杯一起，瑞以玻使增数要了此以裂或合发提瑞的重更法制中一式，实将一玻玻可分，以却数要为此以裂或合发提瑞的重更法制中核一式，是，合制杯含一低，炼，柱杯完取我射绝生起。料屏杯瑞将不解如绝的性-137-这物，玻杯要出办-232-产障的化来付决社-137-器皿

## 名 词 解 释

增殖反应堆:	一种能够产出比本身消耗的更多的裂变材料的反应堆。绝大多数增殖反应堆利用快中子维持核链式反应，因此它也称作“快速增殖堆”。不能生产出比本身所消耗的更多的裂变材料的快堆被称为“快中子反应堆”。
燃耗:	单位核燃料产生的能量，计算单位通常为 MWdth/MTHM。
电子:	带负电的基本粒子。
增殖性材料:	这种材料本身不是可裂变的，但可以转变成裂变材料。铀-238 和 钍-232 是主要的增殖性材料。
裂变物质:	一种其原子核吸收了一个低能（理想的情况是绝对零度能量）中子即可发生裂变的物质。可裂变物质能够维持核链式反应。
能裂变的物质:	一种经高能中子轰击后可发生核裂变的物质。绝大多数这类物质可能维持核连锁反应。
半衰期:	一定量的放射性元素衰减一半所用的时间。
同位素:	原子核中具有相同数量质子但不同数量中子的元素的各种变体。元素同位素具有相同的原子序数，但是质量数不同。
减速剂:	一种用于核反应堆中用于减慢裂变过程中产生快中子的物质。
中子:	存在于各种元素（普通的氢除外）原子核中一种中性基本粒子。自由中子衰退为一个质子，一个电子和一个反中微子。一个中子的重量约为一个电子的 1,838 倍。
核裂变:	一个重元素的一个原子核分裂为两个较轻的原子核，通常伴随着一个或更多的电子的产生和能量的释放。
质子:	与电子带电相同的基本粒子，约是电子重量的 1,836 倍。
反应堆芯:	反应堆的内芯包括燃料、减速剂（就热核反应堆而言）和冷却剂。
再(后)处理:	从经辐照的核燃料中分离出铀、钚和裂变产物。
热核反应堆:	一种利用热（或慢）中子维系核链式反应的反应堆。
玻璃化:	制造玻璃的过程。在处理钚和核废料时，玻璃化意味着将其同玻璃熔液混合在一起，使之不易移动，但可安全保存和不轻易可以制造核武器。

美俄合作

人稳后还工萨强行切营射丰彼燃试上萨验们进基  
令求再国理州的进在运放国圣作化加在实我题了  
有寻不美处纳谷厂其在度美在合璃果如家就问供  
都在国管后来西工过正强比还适玻成例国方的提  
国们美(用罗州化通座高了斯不坏的, 岭双迫作  
美它策。料军南约璃斯一化得罗对着得究树为紧合  
和明政废座在纽玻罗的璃获俄所行取的橡都最的  
斯表散核一始和料俄65玻面。究进经和, 个利  
罗象扩的一区废验。克在方经研渣进区研一互  
俄迹不用着已地核试斯而料的镭残斯在地的时代和  
在的核商营并河性的宾厂废多的钚罗正河行时极  
鼓舞的理经并, 纳射张雅工核得堡的俄国纳进个积  
鼓妥处在厂, 凡放紧尔的性富得料验。美凡室这行础

能源与环境研究所的“核材料危险”计划

——阿妮塔·塞斯

1985年组织分析技术认为有信息、一得者和所泛向面。危害军价和自人息究广为方誉境裁的者所个信研了作题的的以报学究的境到我们问题源来散们家国确环得我核息带扩我动境美准与性了供信产不，活定环向和源整立提要生核上、肯与，晰能完确士重器题者泛源来清完也人个武理、问策广建提和分同有的关钚系到们立供培析这关一核处列决的

统一防俄试个方俄工  
总钦以步化一全美理杯。服理  
利化第玻璃各料分。处用以后  
叶璃为合家材料部后使力的  
统定市。两每方项目闭反以关  
顿该黑立一双作关核可也  
林应入建一一作为合意在们也  
克就流该厂工作技术同不它家  
现止美验一应厂，然后别工。

管其效将技是移球  
料使境其的论转全  
材促环使手无的要  
用能和并棘域。在需  
器才散法，类潜这  
武系扩方这他的题，  
在关易理钚其钚解决。  
俄伴不处理到用球解  
美伙求钚处移商全去  
有的寻的后转是是力  
只面家好从题还都努  
理它应就术军问共  
方国良业问用题同

国举同话扩题1996次在和合美顿和电体问1996首中针联在盛会闻媒源力了集少的我们华布新的能意行点减险我在发行成与注举焦在危象由闻进组核的顿的旨的就过新者式望众盛议的来息，通者记形希公华会取带信样。记的种们引在，采所术一国地两我吸们会采所技的各各这划，加月发可缩上。解所行世会展能年新美高措

的栏过与工对了的压生问  
上的通语识其法。实加的散  
网种在母认述法。现施料扩  
维语旨的供阐想施料扩  
万他所者提地的向家材核  
在其究记众效技术以国用增  
我们用研和公有技术可器器能  
使境家为够核便器器可能  
括环动系能核止发  
增包与活联系们材的停开  
并以源活他材的停开  
系内目用之具有解和力，产  
统容，能各建使关情潜使停技  
系统，能各建使关情潜使停技

本刊《能源与安全》是此项通讯的基石。通  
“核材料危险计划”的基石。通  
部分是以我们现有的时事通讯

型，美信他英的。包关活源选在12》钚模要在将给英的。将有和能源它于全和模主要是递用版物家家《能及将安料为主的传是出刊国学的以。与燃科学》目语》言》和科期的以用源乏科学的母安语全本同电作能理的我们的与种安区地各章。不了的《理行动动于读者源中源行界文讨产一再行动行由于国《刊和供》别源的阐行民行各以所法后与消家安特能版将题。为为发以法后与消家安特能版将题。为国息们俄今括的动与择，全月报的

## 核电及其在全球电力和能源中的作用

——阿妮塔·塞斯汗编

国发比的表种算产是的电瓦产特里总千量2电了程  
一总的 小该两计和的装产兆。一这源以计表发括过  
以其占到。含力量指安的用量某在能它作和总包配  
1 在所大列包电容量家备它 是内的)量, Wh 1 是中分失。  
表电中从排上的的容国设来的间年(kW 表的 和损  
核量作序际立法: 容关力度, MW 指时一出时位示其送的中的  
的电重顺实独方量。有电额(MW 量定是输瓦单显量, 传中的

表 1：核电(1993 年)

国 家	核电在总发电量中的比重 (四舍五入)	总发电量 (兆千瓦时)	总容量 (兆瓦)
法 国	78	368,188	59,020
比 利 时	60	41,927	5,485
瑞 典	43	61,395	9,912
西 班 牙	36	56,060	7,020
南 朝 鲜	36	58,138	7,616
乌 克 兰	33	75,243	12,818
德 国	29	153,476	22,657
日 本	28	249,256	38,541
英 国	28	89,353	11,894
美 国	19	610,363	99,061
加 拿 大	18	94,823	15,437
俄 罗 斯	12	119,186	21,242
全 世 界*	18	2,167,515	340,911

\* 世界总量中包括以上没有单独列出的国家。

资料来源：《能源统计年鉴：1993》（纽约：联合国，1995年出版）。

源产世某发  
资源生个在其  
电力料整但占  
电燃占上，能  
其他物遍，以可  
其矿遍，也。60%  
同管普源最能他  
核电尽然量他  
表2把比较仍电其  
了能发区行电总地  
进的界些

水相和利当核洲，多80%倍4的南的在量量。电多发50%的燃料占总料的电物量的电矿电于电发

表2：世界电力生产分类表  
(百万千瓦时)

	矿物燃料	水电	核电	地热和其他	总电量
全世界	7,669,958	2,376,106	2,167,515	47,131	12,260,710
非洲	281,518	50,531	7,200	340	339,589
北美洲	2,491,646	641,208	709,994	30,195	3,873,043
美国	2,236,388	276,463	610,365	22,676	3,145,892
南美洲	97,291	410,479	8,192	-	515,962
亚洲	2,403,166	526,107	351,498	9,356	3,290,127
中国	685,153	151,800	2,500	-	839,453
印度	279,000	70,667	6,800	52	356,519
日本	550,181	105,470	249,256	1,798	906,705
欧洲	2,237,226	708,654	1,090,631	5,640	4,042,151
法国	35,336	67,894	368,188	-	471,448
德国	350,656	21,465	153,476	124	525,721
俄罗斯	662,199	175,174	119,186	28	956,587

资料来源：《能源统计年鉴：1993》(纽约：联合国，1995年)。

表3：1993年全球商业能源消耗  
( $10^{15}$  焦耳)\*

	气体	液体	天然气	核能**	其他**	总量
世界	93,981	119,407	77,921	23,599	9,966	324,873
非洲	3,130	3,859	1,548	78	195	8,805
北美洲	20,056	40,070	26,474	7,730	3,266	97,598
美国	18,863	32,093	22,362	6,645	1,684	81,751
南美洲	616	5,456	2,461	89	1,478	10,095
亚洲	42,131	34,132	13,443	3,827	2,260	95,830
中国	23,540	4,886	661	27	547	29,679
印度	6,281	2,264	460	74	255	9,338
日本	3,545	8,579	2,223	2,714	443	17,505
欧洲	26,231	34,095	33,109	11,874	2,569	107,852
法国	610	3,204	1,307	4,009	244	9,153
德国	4,115	5,158	2,669	1,671	78	13,724
俄罗斯	6,636	6,802	14,745	1,298	631	30,042

\* 固体能源包括无烟煤、褐煤、泥煤和油页岩。液体能源包括原油和液态天然气。其他的电力主要是水电，但也包括地热、风、潮汐、海浪和太阳能能源。核能已被转化成热能，计算方法为1,000千瓦小时电能=372公吨煤炭。

\*\* 不包括进出口。

注释：表3列举了能源投入(初级能源消耗)，而表2则列举了能源产出(以电的形式)。这就是本表“核能”一栏与“其他”(主要是水电)一栏以及表2中“水利”一栏与“核能”一栏之间存在明显的数据差异的原因所在。利用热能(如核能)发电其效益只相当于机械发电(如水利)的约三分之一。当利用核能和水利资源发同样数量的电时，在核能上的投入要比水利资源上的投入高三倍。为了使能源数据可以比较，另一栏应增加至 $27,000 \times 10^{15}$ 焦耳。

资料来源：《能源统计年鉴：1993年》(纽约：联合国，1995年)

表3着眼于更广泛的背景，它不仅仅考察电力生产，而且包括全部商业能源消费。1993年，非洲有7亿人口，占世界总人口的13%，但却仅消耗世界商业能源的3%，相比之下，北美和欧洲仅占世界人口的五分之一，却消费了世界全部商业能源的几乎三分之二。

在所有商业能源资料中，人们对矿物燃料的依赖是明显的。世界能源的90%来自于矿物燃料（主要是煤炭、石油和天然气）。但是，有一些国家是从核电中获得相当可观数量的能源的。如在法

表4：来自生物量燃烧的能源（1985年）

	$10^{15}$ 焦耳	占总能源的比例
世界范围	54,800	14.7
工业化国家*	6,900	2.8
发展中国家*	48,000	38.1

\* “工业化国家”一栏包括美国/加拿大、欧洲、日本、澳大利亚、新西兰和前苏联。“发展中国家”则包括拉丁美洲、非洲、亚洲（除日本外）和大洋洲（除澳大利亚和新西兰以外）。

资料来源：托马斯·B·约翰逊，亨利·凯利，阿穆亚·K.N·雷迪，以及罗伯特·H·威廉姆斯：《可再生能源：燃料和电力来源》，艾兰出版社，1993年，第594-595页。

国，1993年该国核电占其能源消耗总量的约44%。

表1-3中的数字以最近得到的数据为基础。这些联合公表只考虑了商业能源的使用，因此不包括传统和生物能的能源（统称为生物能）。通过燃烧生物能几乎占世界能源消耗量的15%。在发展中国家，人们对燃烧生物能的依赖程度最大，占其能源总量的38%。由于这些燃料的使用花销即能找到，受其价值和使用范围所限，往往唯种生计依赖于它们。然而它们是几亿人唯一重要的能源资源。有包括能源在内的能源资源在亚洲发挥特别重要的作用。

同矿物燃料相比，以目前低效的方式燃烧生物量取得能源和研究开发问题是环境的成因。随着资金的投入和研究的进展，生物量燃料可以被转化为先进的能源形式，从而奠定能洁、更有效和可更新能基，使之优于矿物燃料和核能。

### 计量单位

瓦(特):	用来衡量能量生产和消耗率的一种公制单位。1马力相当于746瓦。
焦耳:	衡量能量的公制单位，相当于以1瓦特的功率工作1秒钟所产生的能量。
千(Kilo-):	一千。千瓦是计量电功率的通用单位。
千瓦时:	一种能量单位，等于360万焦耳，是以1千瓦的功率工作1小时所产生的能量。
兆:	一百万。兆瓦是计量大型电站产电量的通用单位。当它被用于电力生产时，它通常是指产电能力。
吉:	十亿( $10^9$ )。1吉瓦(相当于1,000兆瓦)大约是一座大型核电站的容量。
太:	万亿( $10^{12}$ )。
秭:	千兆亿( $10^{15}$ )。大规模的能源用量通常用秭焦耳来计算。1公吨煤炭所含能量大约相当于290亿焦耳(联合国标准)。因此，1秭焦耳大约相当于34,500公吨煤炭。
穰:	百兆亿( $10^{18}$ )。

### 各种反应堆的产电量\*\*

	轻水反应堆*	碳减速反应堆	重水反应堆	快速增殖反应堆
兆瓦(电)	294,910	25,168	17,851	2,600

\* 其中，压水反应堆(PWRs)占219,391兆瓦(电)，沸水反应堆(BWRs)占75,519兆瓦。

\*\* 其他类型的反应堆只占一小部分(不到0.1%)。

资料来源：铀研究所万维网络上地址：<http://www.uilondon.org/reastats.html>。快速增殖反应堆的数据取自《世界上的核反应堆》一书(维也纳：国际原子能机构，1995年4月)。日本“文殊”反应堆的280兆瓦已经加了，该反应堆1995年4月开始运转，现已关闭。

表5：各地核反应堆状况  
(截至1996年5月)

	正在运转*	建设中	停建
非洲	2	0	0
美国	110	0	6
北美其他国家	24	0	2
南美洲	3	2	0
日本	52	2	0
亚洲其他国家	31	15	1
法国	56	4	0
西欧其他国家	94	0	0
东欧	20	4	6
俄罗斯	29	3	7
乌克兰	15	2	3
前苏其他地区	5	0	0
总计	441	32	25

\* 包括五座于1996年5月已获许可但尚未运行的反应堆，它们分布于美国、亚美尼亚、加拿大、德国和印度。还包括四座已到了临界期，但已不再工作的反应堆，其中2座在日本，另2座分别在美国和罗马尼亚。

资料来源：铀研究所万维网上地址<http://www.uilondon.org/netpower.html>。

## 矿物燃料和核能比较 (列表简要说明)

——阿琼·麦克贾尼

表中进行的定性比较是以这样的假设为前提，即在日常运转和废料处理方面，人们在合理地注意环境保护条件下操作核设施。如果这一假设并非事实，那么后果可能(并且通常是)极为糟糕。表格中有关气候变化的说明指的仅是采取某种特定的能源战略所带来的增量风险。由于向未来的能源战略过渡需要时

间，所以核能和再生(资源)战略两者都将给我们带来前所未遇的问题。

尽管我们还不清楚地球对二氧化碳的准确的忍耐度和吸收量，但地球似乎具有每年吸收30亿吨二氧化碳的能力。然而，现在的二氧化碳的年释放量为90亿吨，其中约三分之二是由矿

物燃烧产生的，其余则由燃烧生物量所造成。

矿氧的某外，二放对碳化制中，这释非控气化，于空的用和境采向环造成质开质造成和水放释采向环物化技术也燃料物化

影矿种和释产前的用种的，所目重使的性中气借严式化难料然凭分方变灾燃天，十的候是物，而生前气将矿时，然产目了险在碳的多。常以来风的量最区而且，带这些转分量通地而料逆位能些响。物风不放生

	利用增殖反应堆的核能	利用一次性使用铀的核能	以目前方式利用的矿物燃料	限量使用矿物燃料及可再生能源
目前经济条件下的能源基础*	具无限期前景	50-100年，或更长	几百年	具无限期前景
包括很低级的能源在内的能源基础	无此要求	具无限期前景	几千年	无此要求
增量的气候变化风险	无**	无	具有潜在的灾难性	如矿物燃料大部分被淘汰的话，则无此类风险
潜在灾难性事故的后果	在大面积地区产生严重、持久的影响	在大面积地区产生严重、持久的影响	在大面积后存地后果，但区域后果，其影响通常是在严重后果，常常是短期的	对大面积后果，但区域后果，其影响通常是在严重后果，常常是短期的
日常生活中的大气污染	相对较小	相对较小	可严重，亦可中等，取决于控制技术	可中等，亦取决于控制技术
日常生活中的水资源污染	在矿井和潜在的污染，但对铀的要求较低，则有料有潜在的严重污染	在工厂在污水果求染废具严处理理在场的潜在污染	在矿井、加工厂和通常非放射性污染，在处理厂的潜在污染	常有些在煤油严重污染，也有辐射性污染，有许许多的油铺-226)
用于制造核武器的风险	存在	存在，但利用系	比堆小	不存在

\* 参见正文。

\*\* 由于维系一座增殖反应堆系统必须进行大规模的燃料后处理工作，人们提出由此产生的氪-85会影响云的形成，并产生潜在的气候变化。但是，通过低温冷却，氪-85是可以从废气中排除掉的。

的技术，特别是考虑到现在全世界重能在漏作这大部的全分子的天然气(甲烷)对全球变暖(尽用一点还没有得到充分认识)。

在现今的条件下，燃烧的燃料量祸贝故来由制核能烧自己切贝利区外，于日生己尔利区带，能烧核能也是象诺分果。此用是放少端，那给严重核电武器的材料，这一风险是得比较的当和会的产生大量的风险是无法比拟的。

很明显，在当前条件下，使燃料境燃堆取立那大规模一外，是增都目殖可不稳定的用都和料还之即么持久

如果可以减少矿物燃料使用的用量，并在循环利用基础上的年矿物放量低于30亿吨的话，那么矿物

更好的型过器掉，放为再燃限证用理释成可物，被使他以转处体料向矿物，被使核其可碳或气燃在贮种矿物源。在矿物源过程中，燃器器被使燃料形式，补充环境吸收作也能够转换为使资源通过碳过渡可以扩大种能为经济作用。如果加以经济的话，也可以是经燃料。

例如，天然气氢能源基础不足，不如，产生太和明显太阳和经济条件技术，前可程会源以将能源因施以能用)件和是”术使景。阻措不为提向向两相再物及下雨很下，成得合止)断寻找最作为方这是可生以件和是”术使景。阻措不为提利发种似生量风例量经，本上理二和提找最利资源，设施可阳使明显照阳条技，前可程会源以将能源因施以能用)件和是”术使景。阻措不为提向向两相再物及下雨很下，成得合止)断寻找最

《能源与安全》免费向读者提供。

责任编辑：阿妮塔·塞斯

第一期英文版《能源与安全》于1996年9月出版；中文版于11月出版。

《能源与安全》的策划和出版极大地得益于世界各地朋友们的定期建议。我们的效益也极大地依赖于你们的建议。我们欢迎读者们有权利删减来信，如有所删减，将指明。

## 能源与环境研究所著作精选

### 《核荒地——对核武器生产及其健康与环境影响的全球指南》

由阿琼·麦克贾尼，霍华德·胡和凯瑟琳·伊编辑，麻省理工学院出版社1995年出版。

该书是一本向学者、学生、决策者、记者及和平与环境活动家准确提供每一个公开和事实上的核大国的核武器计划发展历史的手册。全面的历史资料和分析使政府隐瞒核武器给其所保卫的人民和土地所带来的危险的秘密和全部欺骗曝光。

1995年8月9日乔纳森·史蒂尔在英国《卫报》这样评论：“未来有关核武器的研究如果不参考本书，将不会是令人信服的。”

该书为硬皮装订，共有666页，定价为55美元，折扣价为40美元。

### 《玻璃中的裂变材料》

作者是阿琼·麦克贾尼和安妮·麦克贾尼，该书于1995年由能源与环境研究所出版社出版，目前在俄罗斯也可以买到。

该书分析了处理钚和高浓缩铀的各种方案，急切呼吁美国把玻璃化钚作为其处理钚的方案（而不是将其用于反应堆），以便其能够说服那些还在从民用核废料中提取钚的国家停止这方面的工作。

美国能源部负责环境恢复和废料处理的副部长汤姆·格兰布里写道：“如果说我在这一领域（裂变材料处理）遇到过什么问题的话，那就是缺乏这本书中所提供的那种现实的选择方案。这也是我对该书热心的原因。”

该书为平装本，共有126页，售价12美元。

### 《钚——核时代的致命黄金》

由国际医师预防核战组织与能源与环境研究所合著。国际医师出版社1992年出版。平装本，178页，售价17美元。该书在日本、法国和德国亦有出售。

### 《放射性天空和大地——地球内外核试验对健康和环境的作用》

由国际医师预防核战组织与能源与环境研究所合著。Zed出版社1991年出版。平装本，共有193页，售价17美元。

### 《核安全烟幕——弹头安全与可靠性和基于科学的库存管理计划》

这是能源与环境研究所1996年的一份报告，售价10美元。

俄罗斯和中国可以免费得到该报告的内容提要。

#### 国际邮寄及装订

每本《核荒地》另加15美元；其他每本另加5美元。

#### 可免费获得的材料：

- 钚的物理、核和化学性质\*
- 铀：用途及危险\*
- 放射性和混合废料的焚化

\* 在俄罗斯亦可得到

参见我们在万维网 <http://www.ieer.org> 地址上的网络材料，可以很容易地得到免费材料及我所其他的信息，包括通过网络进行的技术培训、技术报告以及我们著作的精选。

## 书 目 摘 要

有关钚问题:

### 《国际核废料处理事实报告》

C. W. 亚伯拉姆斯, M. D. 帕特里奇和 J. E. 威德里格合著

由华盛顿的太平洋西北国家实验室(服务于美国能源部)于1995年11月出版。

这本小开本的书提供了逐个国家的有关核设施、机构和人员的全面数据。

发行范围: 全世界

### 《1992年全世界的钚和高浓缩铀存量》

戴维·阿尔布赖特, 弗朗斯·伯克豪特和威廉·沃克合著

牛津大学出版社1993年出版。

该书在可用于制造核武器的钚和高浓缩铀方面提供了全面、可靠公众信息和可观的历史信息。本期的时事通讯中出版了某些最近的信息。

发行范围: 全世界

### 《分离出的钚的处理》

弗朗斯·伯克豪特, 阿纳托利·迪亚可夫, 哈罗德·费弗逊, 海伦·亨特, 马文·米勒和弗兰克·冯·希波合著。载《科学与全球安全》1993年3月号, 第161—213页。

该文详尽分析了处理钚的各种选择方案, 其中包括安全储存、混合氧化物燃料和玻璃化, 还对分离钚的来源进行了讨论。

发行范围: 全世界

### 《限制可用于制造核武器的裂变材料的扩散》

布赖恩·G·乔和肯尼思·A·所罗门合著。由兰德公司于1993年出版。

该书分析了反应堆利用钚的成本, 证明由于铀价较低, 所以使用混合氧化物燃料会入不敷出。

发行范围: 全世界

### 《第一个50年——1944年到1994年美国钚的生产、获得和使用》

美国能源部于1996年2月发表。

该书包含美国能源部长奥莱利“公开性动议”的部分内容。该动议使得以前与各种核武器有关活动的信息公诸于众。该书包含有关美国的钚的大量信息, 其中包括有关详细地点的特殊资料, 也包括美国进出钚的资料。

发行范围: 主要在美国

### 《能源部钚工作小组就与该部钚存贮有关的环境、安全和健康脆弱性问题发表的报道》

美国能源部于1994年9月出版。出版号: DOE/EH.0415。

该报告讨论了冷战结束时遗留下来的各种形式的钚和钚残留物的储存所带来的问题, 还讨论了由于放射性分解而带来的储存容量的毁坏问题, 例如形成可燃气体等。

发行范围: 美国

如需要能源部资料的副本, 联系地址为: U.S. Department of Energy, 1000 Independence Avenue, SW, Washington, DC 20585, USA.

## 书 目 摘 要

### 《文殊快增殖反应堆》

1994年于日本出版。

该书提供有关快堆的技术信息，以及全世界特殊快堆计划的详细内容，其中重点放在文殊反应堆。

### 《过剩武器的管理和处理》

美国国家科学院国际安全与军备控制委员会于1994年出版，英文版和俄文版。

该书全面回顾了美国处理过剩武器级钚的各种方案，推荐了3种选择方案供参考：将钚用作混合钚-铀氧化物燃料，玻璃化钚和深钻孔贮钚。该书指出，由于铀价低廉和生产混合氧化物燃料的高成本，把钚当作燃料来使用会入不敷出。

发行范围：除了讨论俄罗斯的部分外，主要在美国

若想获得与1995年报告有关的详情，请参阅本刊本期文章《作为能源的钚》。

如需要美国国家科学院报告的复印件，联系地址：

Committee on International Security and Arms Control, U.S. National Academy of Sciences, 2101 Constitution Avenue, NW, Washington, DC 20055; cisac@nas.edu

### 《钚问题国际会议》

1993年日文出版。

该书从1991年的钚问题国际会议开始，广泛讨论了与利用钚作能源有关的问题，其中包括有关混合氧化物燃料的信息、对钚运输的忧虑和扩散危险。

### 《美国和苏联核武器的裂变材料》

冯·希波，D·阿尔布赖特和B·莱维合著。PU/CEES 报告第168号。普林斯顿大学能源与环境研究中心，1986年。

内容包括在最近几年的销密之前对美国和俄罗斯武器级裂变材料生产的估测；可以提供在估测技术方面的有用信息。具体而言，苏联的钚产量是通过对全世界的再处理工厂所释放出的氪-85的评估来加以估测的。对于人们理解非政府部门科学家们用以说服政府扩大资料的公开性的估测根据，是大有帮助的。

有关能源问题：

### 《能源浪潮：即将来临的能源革命指南》

克里斯托弗·弗莱文和尼古拉斯·伦森合著。W.W.诺顿公司1994年出版。

该书详尽地分析了可再生能源的状况。

### 《未来年代的能源》

“Echo-Vostok”信息机构，季刊，1996年起，俄文版和英文版。

该季刊重点放在能开发可再生和持续能源的技术上。在俄罗斯可以找到该刊的俄文印刷本。该杂志的英文版（只有电子版形式）由华盛顿特区的可再生能源和持续技术中心编辑，并可以通过网络地址：<http://solstice.crest.org> 进行阅读。

## 书 目 摘 要

### 《可供世界持续发展的能源》

乔斯·戈登堡, 托马斯·B·约翰逊, 阿穆尔亚·K·N·雷迪, 和罗伯特·H·威廉姆斯合著。

约翰·怀利父子公司 1988 年出版。

### 《可再生利用能源: 燃料和电力的来源》

这两本书对当前利用的能源和未来的替代能源进行了详尽的讨论和分析。

## 《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一年发行4次。该研究所的地址为: 6935 Laurel Avenue, Takoma Park, MD 20912, USA。

电话: (301) 270-5500 INTERNET 地址: ieer@ieer.org

传真: (301) 270-3029 万维网地址: http://www.ieer.org

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

### 能源与环境研究所成员:

所长:	阿琼·麦克费尼
执行主任:	伯恩德·弗兰克
图书馆员:	洛伊丝·查墨斯
工程师:	马克·菲奥兰凡特
高级科学家:	凯文·格尼
簿记员:	戴安娜·科恩
项目科学家:	安妮·麦克费尼
对外协调员:	帕特·奥特梅尔
全球协调员:	阿妮塔·塞斯
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 和 C.S. Fund

我们还要感谢我们的基层技术支援计划的资助者, 该计划为我们的全球工作提供了广泛的帮助。

该计划的资助者是 Public Welfare Foundation, John Merck Fund, Ploughshares Fund, Unitarian Universalist Veatch Program at Shelter Rock, Rockefeller Financial Service, Stewart R. Mott Charitable Trust 和 Town Creek Foundation

本期刊物英文版的设计由华盛顿特区的 Cutting Edge 图象公司承担, 照片取自电力反应堆和核燃料开发公司和美国能源部布赖恩·史密斯。