

停止裂变材料生产(一)

《国外核武器动态》编辑部

在日内瓦举行的联合国裁军大会正在考虑一个公约，用于禁止武器用裂变材料的生产。自1978年以来，联合国大会一直支持要求停止裂变材料生产的决议，最近的讨论主要是根据克林顿总统在1993年9月27日提出的“禁止生产用于核爆炸目的或未经国际安全保障的高浓铀和钚的多边公约”进行的。

(“国际安全保障”是指经过国际原子能机构(IAEA)的核查，确保核材料不用于武器或其他爆炸目的。)该公约将允许已经拥有未经安全保障的裂变材料库存的国家继续在安全保障范围之外维持其核库存，但今后只有在安全保障之下才能进行裂变材料生产。减小某些国家、恐怖组织和黑市交易者获得武器级裂变材料可能性的最有效途径是停止裂变材料生产。核武器国家已经积累了250吨武器级钚和1500多吨高浓铀。尽管其中大部分在核弹头中，但还有相当数量的裂变材料以各种形式分布在核武器国家的核武器设施中。一旦流失，哪怕数量极小，也将导致灾难性的后果。关键是必须把现有武器级材料置于严格控制之下，并最终得到国际安全保障。如果停止未经安全保障的核武器材料生产得不到一致同意，如果不把所有潜在生产设施提交国际核查，控制或保障方法将被渐渐破坏。若不能制止新的不经安全保障的武器材料的流动，就不可能制定出控制和核查武器级材料的全面而有效的系统。禁产公约将使美、俄军火库中的核武器材料只减不增，也将压缩另外每个公开的核武器国家(中国、法国及英国)的武器库存。全球性的禁产公约将把三个事实核武器国家(印度、巴基斯坦和以色列)纳入不扩散体系中，中止它们的核武器计划，并让它们的核设施接受国际核查。总的说来，构成合理的禁产公约将逐渐增强这个国际准则，即核武器将不在正常的国际政治中起作用。目前禁产公约进展缓慢的部分原因是尚未明确几个技术和政治问题。本文将主要讨论5个问题：1 禁产公约的范围是什么，即应该禁止哪些国家和哪些级别的活动；2 有关国家武器级材料库存及武器规格的情况，禁产公约如何制约核武器计划及其他国防活动；3

在海军动力核燃料循环及其他非武器目的使用核材料的情况下，能否不泄漏核大国和事实核武器国家被允许的核武器活动的机密信息，而进行有效的核查；4 禁产所带来的利益与要付出的代价能否相符？5

如何达成不致于使事实核武器国家的地位合法化的禁产公约，并作为NPT的替代条约，使各国可能参照加入。全球性的禁产公约牵涉到所有有核国家的利益，应在不危及各国安全的情况下实施有效的保障措施。禁产保障将参照现行的核保障制度，其大部分费用很可能需要由NPT的核武器国家承担。为了使大多数NPT国家接受禁产公约，该公约应对事实核武器国家有较大吸引力。1 禁止裂变材料生产的范围联大决议是禁产公约讨论的基础，决议要求制定一个面向所有国家的国际公约，包括五个核大国和印度、巴基斯坦、以色列，以及其他无核国家。禁产公约要停止用于爆炸目的和不经安全保障的钚、高浓铀(HEU)和铀-233的生产。这里所有的钚是指任何钚的同位素化合物(Pu-238含量在80%以上的钚除外，这种钚可以免除IAEA的安全保障)。关于HEU，采用IAEA的定义，即HEU是U-235浓缩到20%以上的铀，尽管武器级铀的定义是U-235在90%以上。钚和HEU是核爆炸的主要原料，所有核弹头都包括其中一种或两种。现代核弹头有的只有裂变爆炸部分，有的还同时含有热核(聚变)爆炸部分。一枚核裂变弹头通常需要几公斤钚或15—25公斤武器级铀。HEU也用于聚变武器的第二级来增加当量。钚的同位素达到临界质量会导致快爆链式反应。武器设计者一般用Pu-239浓度非常高的钚，其中更重的钚同位素含量较低(Pu-239的富集度大于93%为武器级)，反应堆级钚(Pu-239的富集度约60%)也可用于核爆炸，当量从几百吨TNT到几万吨不等，这取决于武器制造的精度。可以认为所有钚同位素的混合物都是可用于武器的。在铀作燃料的反应堆中，U-238捕获裂变中子变成Pu-239，继续捕获中子还可转变为Pu-240等更重的钚同位素。捕获的可能性随反应堆中燃料的停留时间而增加。所以，生产武器级钚要求在产生更重的同位素之前迅速从反应堆中取出燃料。然后钚从铀和裂变产物中分离出来，这个化学分离过程叫做“后处理”。HEU是通过分离U-235与U-238得到的。武器用核材料的停产是需要核查的。过去虽然非核查协议的议案有了很大进展，但有目前仍无法接受。生产裂变材料的军事和民用设施，不管其目前是否在运行，都应置于安全保障之下。各国可以继续把钚和铀浓缩到20%以上，但必须在保障监督下进行。但有核国家核武器中的核材料及过去生产的军事库存应在安全保障范围之外。实际上所有与核武器维护相关的活动，只要不是生产新的燃料，都应是禁产公约所允许的。另外，还要针对保障范畴之外的海军船舶使用高浓铀和产氚的情况制定具体条款。裂变材料库存、武器规格及生产表1显示了对五个核国家和三个未公开核国家的武器中和其他保障范围之外的库存裂变材料的估计。1994年初，已在所有NPT核武器国家终止了武器用聚变材料的生产。在事实核武器国家中，印度和以色列还在生产不经安全保障的核材料。据报告称巴基斯坦已于1991年停止生产HEU。对这些国家来说，加入禁产条约依赖于其现有储备或从五个公开核武器国家能得到的材料能否满足其将来对核武器的需要。美国在1964年停止生产用于武器的铀，那时美国的核武库贮存的核弹头数量最多。后来，美国新的核弹头所用HEU多是从退役弹头上回收核材料。美国以每年3—5吨的速度继续生产海军舰船动力堆所用的HEU。1991年美国从拆除的核弹头中回收了大量HEU，于是宣布暂停生产用于任何目的的HEU。1964年，美国迅速降低了军用钚的生产速度，但并未完全停止。直到1988年最后四个生产堆由于安全审查的结果而关闭。1992年6月，布什总统使“永远停止生产钚”的决议生效。在美国的核武库正在进一步终止裂变材料生产。目前裂变材料的首要问题已不是生产，而是对剩余库存的管理和处置。美国已从拆除的武器中回收了大量的

铀和HEU，铀已储存在德克萨斯的潘得克斯工厂，而HEU储存在田纳西州的橡树岭附近的Y-12设施中。一旦START-1和START-2在2003年完成缩减计划，有效核武器中的核材料数量将进一步减少，剩余武器材料将保留在战略储备中。假定核武库有5000个核弹头，则储备的材料大约可供3000个弹头用。美国在2003年对武器材料的要求是25吨铀和120吨HEU。更多的库存是为海军舰船动力堆准备的。到目前为止，美国海军动力堆已消耗了大约1000吨HEU。假定为满足将来海军舰船的需要，美国新一代海军动力堆将由低浓铀(LEU)作燃料，这将使战略HEU的需求升高到2200吨。在这种粗略估计的基础上，美国积累的军备在2003年可达60吨以上铀和300吨以上武器级HEU。美国声明将努力把材料置于国际安全保障之下。可以认为，无论是否有禁产公约，这种军用到民用的转换会持续一段时间。俄罗斯/苏联苏联在1988年停止生产武器用HEU。在托木斯克-7和克拉斯诺雅尔斯克-26的水冷堆，石墨堆中继续进行武器级铀的生产，并在这些场所进行铀分离。当地需要这些反应堆继续运行以供热和电能。按照俄罗斯的原能部(Minatomb)和美国能源部(DOE)1994年3月的协议，俄同意一旦当地热电厂启动，就关闭这两个反应堆。1994年6月，俄国再次肯定这一点，以及以前所做的在2000年停止运行铀生产堆的保证。同时，新分离的铀将不用于核武器。如表1所示，苏联生产的武器用铀和HEU比美国多，并且保留量也相应更大。在START缩减计划完成之后仍将达到大约140吨铀和700吨HEU。通过向美国出售HEU，俄罗斯的大量武器材料将变成民用资源。英国英国于1963年停止生产HEU。60年代初，英国依靠美国提供用于武器和海军动力堆的HEU。根据1958年的英美军事合作协议(1959年修正)，英国用铀换取美国的HEU和氙。最后一次船运HEU是在1987年。1976年英国宣布要生产氙的同时，结束氙的运输。此协议仍然有效。英国政府希望在将来由美国为其提供核潜艇燃料。在Dalder Hall和Chapelcross的8个小型军用堆的产量基本满足英国对武器级铀的需求。尽管1964年以来英国大多数时间电量都很充足，但仍继续运行这些反应堆。这些堆经常生产武器级铀，虽然已有35—40年的历史，到了运行寿命的晚期，仍在保持运行。经退役和拆除，英国核武库只剩2种核武器系统：北极星导弹和WE 177炸弹，目前库存总量为200个。其中96个是北极星战略导弹的弹头。假定每个弹头包含3—4kg铀和15kgHEU，那么英国核武库约有600—800kg铀和3吨HEU。除此之外还有300—400kg铀和1500kgHEU在退役的武器中。从1994年开始，英国将用可携带200个弹头的三叉戟潜艇代替4艘北极星核潜艇。铀和HEU的需求量分别是6600—8000kg和3吨。1993年，除了4艘北极星核潜艇，英海军还有15艘核攻击潜艇(SSN)在役。在1991年宣布的“转换选择”计划中，SSN舰艇预计在2000年减少到“约12艘”。目前运行或计划建造的舰艇都是以HEU为燃料的压水堆作动力。预计在今后40年的时间里，用于舰艇动力的HEU需求会达到30吨，即每年平均75kg。如果英国加入禁产公约，停止生产并保障新的铀和HEU安全，将会出现裂变材料短缺。虽然将来对铀的需求会由进口供应，或回收弹头中的材料，但仍有可能要增加从美国购买的HEU量。法国公开的有法国HEU生产情况的情报非常少，在Pierrelatte生产HEU的同位素分离设施应该在1995年关闭，据悉在那里已经停止了武器生产。法国核武器用的铀至少来自13个军用及民用反应堆。这些堆只有两个正在运行位于Marcoule的Celestin 1和2。主要用于生产氙的Phenix快堆也许将来会重新开堆。1993年，法国宣布它已在1992年停止军用铀的生产。法国目前的军用铀库存量约是英国的2倍，HEU比英国多50%。裂变材料的生产消耗了很多能源，部分原因是法国的核武库很大，另外法国从不依靠进口铀和HEU。法国核武库目前拥有492个弹头，主要部署在战略导弹和空投炸弹上。假定平均每个武器含3—4kg铀和15kg HEU，目前共有15—2吨铀和75吨HEU。法国核武库有4艘装有M-5战略导弹的Triomphant级核潜艇、大量载有空地导弹的阵风战斗机(现在有80架在役)以及大约30枚“哈德斯”陆基导弹。这些新式武器系统总的核材料用量是18吨铀和大约65吨HEU。对HEU的非武器需求主要是作为Celestin 1和2反应堆及弹道导弹核潜艇的燃料，在Marcoule的Celestin反应堆60年代中期曾用来生产氙。这两个反应堆的总产量是380 MWt，每年约消耗300kg U-235。无论如何，这些产量的一部分以及相应消耗较少的U-235，已足够满足法国未来核武器对氙的需求估计每年140g。考虑到Celestin堆寿命，在下个十年左右时间里将需要研究氙的替代能源。伴随着禁产公约，低浓缩铀反应堆将成为最佳选择。过去法国在弹道导弹核潜艇上用HEU，将来可能象核攻击潜艇一样使用低浓铀作燃料。核军事力量的进一步现代化对铀的需求可由现有库存满足。正如英国一样法国HEU的情况已不再明朗，因为关于法国过去生产情况的信息不太可靠。如果替换下来的战略导弹弹头上的材料都是可回收的，HEU的需求将与氙的生产密切相关。中国据悉中国在4个地区生产用于武器的裂变材料。HEU曾在兰州的气体扩散厂生产。铀在两个反应堆(404和812)中生产，同时在酒泉和广元武器生产地有相关的后处理设施。70年代末，中国部分军用核设施开始改址。据报道，1987年停止了武器级HEU的生产，并且浓缩厂已用于商业目的。铀生产堆及相关后处理设施的运行状况并不清楚。(在80年代中期，酒泉反应堆被改成双用途堆重新启动)。无论怎样，中国政府已经声明终止了所有的武器用裂变材料的生产。中国的核军备拥有大约300个战略弹头，用于单弹头弹道导弹、炸弹和潜艇导弹。另外，约有150个未服役的战术弹头。对于中国的现代化计划所知甚少，只知道中国在考虑一些核试验方案，也已在1996年底结束核试验。中国目前核燃料的库存对核军备来说已经足够，并且能够支持有限的增长。由于中国核武器和核材料计划不明确，对其裂变材料需求也难以准确估计。中国的非武器用HEU的需求似乎很少。它的核动力潜艇很可能是用LEU作燃料的。可能有一些HEU用于生产氙。氙的需求是与目前库存的450个弹头相关的，估计有225kg。为了补偿氙的衰变，每年约需生产120g氙，能够用30MWt反应堆来支持，燃料为每年几十公斤HEU。印度、巴基斯坦和以色列在一个短时期内，相信印度、巴基斯坦和以色列将各自拥有核武器，或用独立元件组成武器的手段。根据生产裂变材料的不经安全保障的设备运行历史和所知武器中裂变材料的数量对他们武库规模进行估计的。这种

估计很不准确。但分析的一致观点是，以色列的武库比印度或巴基斯坦的大，并都处于高备战状态，拥有很多先进武器。在这些地区不可能预测将来对武器材料的需求。至于对海军动力堆的HEU需求，只有印度宣布了核潜艇计划，但是并没有说明燃料设计状况。印度曾用孟买附近的巴巴原子能研究中心(BARC)的两个普通天然铀重水研究反应堆生产武器级钚，有关的Thombay后处理厂和两个反应堆Cirus(40MWt)和Dhruva(100MWt)仍在运行。在Tombay，钚从Cirus堆(加拿大提供的反应堆)的废料中提取，用于制造1974试验的“和平”核装置。“和平”核装置模仿Trinity炸弹，当量约12千吨。1985年，印度自己建造的100MWt的Dhruva研究堆开始运行，除了这些设施，用于武器的钚还可由不经安全保障的越来越多的CANDU型反应堆(最初由加拿大发展的重水堆)生产，目前有5个，每个可生产电量220兆瓦。印度在Kalpakkam还有一个15兆瓦的快增殖试验堆，也可用于生产钚。若生产武器级钚，电力堆的电力生产不会处于最佳运行状态，没有迹象表明印度这么做过。动力堆废料中的钚在Bombay附近的Tarpur后处理设备中分离，增殖堆废料中的钚将在有关工厂中提取。对于印度用于武器的钚数量的估计是100—500kg，足够用于20—100个武器。值得注意的是，在印度，钚生产的官方理由是给增殖堆提供启动堆芯，但并未否认偶尔也将钚用于武器。印度还有一个不成熟的应用离心技术进行铀浓缩的计划。在BAEC已经有一个实验性的离心串联器。该计划还将扩展，在Mysore建造一个大工厂，称作稀有材料厂。从这些工厂得来的浓缩铀可用于补充武器钚或为核潜艇提供燃料。印度核武器发展状况很少公开。核武器的设计和制造相关领域很具竞争力。从1974年以来，武器的制造工艺水平有相当的进展。另一方面，如果没有进行全当量试验，增强裂变武器和多级热武器性能是很难验证的。但并没有证据证明在印度发生过这种试验。这样说来，印度不太可能有能力生产比40年前美、苏发展的先进裂变武器更复杂的武器。

巴基斯坦的核武器活动是建立在HEU基础上的。巴基斯坦主要通过暗中购买外国技术，已在Kahuta建立不经安全保障的离心浓缩设备，并在1984年开始生产浓缩铀。据悉现在每年可生产45—75kg武器级铀，相当于每年生产2—3个核装置。巴基斯坦的两位首相，Moeen Wureshi和Benazir Bhutto，曾说过其核计划已经冻结，即Kahuta工厂不再生产HEU。但工厂显然仍在继续生产不经安全保障的LEU，它代替天然铀作为浓缩厂的原料可迅速升级为武器级铀。估计累积的武器级铀为100—200kg，足够5—10个武器用核装置。有报道说，中国曾给巴基斯坦提供武器设计数据，如果这是真的，巴对其先进的聚变武器即便没有进行全当量试验也会对武器性能充满信心。巴基斯坦于1991年在拉瓦尔品第附近建成了“新型实验室”后处理工厂。但是目前没有不经安全保障的废料可用来分离出钚。巴基斯坦在卡拉奇附近有一个多年的有安全保障的CANDU型反应堆。另一个有安全保障的反应堆由中国提供，正在Chashma建造。以色列在Dimona核设施中生产钚。该综合设施包括一个大型研究堆，一个后处理厂及一些高度机密的武器工厂。法国提供的研究反应堆是重水堆，燃料为天然铀。1963年开始运行，反应堆功率据报道为24 MWt。后来升级至70—150MWt。钚生产量达到每年15—40kg。1996年，有关Dimona设施的详细数据来自一位以前在Dimona工作过的技术人员。他声称以色列生产钚，也生产铀和锂铀化合物，同时还用激光和扩散法生产浓缩铀。但他无法得到浓缩设备的情况，也没有对这类活动的独立的确认。尽管对以色列计划所知不多，最保守的西方估计确信以色列核武库拥有50—100个核弹头，其中一些是由铀和锂铀化合物组成的。大多数分析家认为以色列的原则依旧是“防御最新武器”。