

# 由高到低

*Pablo Adelfang 和 Ira Goldman*

## 国际原子能机构正在帮助减少高风险核燃料 在世界研究反应堆中的应用

**研**究反应堆在原子能的和平利用发展中起着关键作用。研究反应堆被用于生产医用和工业用同位素，用于物理、生物和材料科学的研究，以及用于科学教育和培训。这类反应堆还继续在支持核动力计划方面起重要作用。

国际原子能机构的数据表明，全世界有249座运行中的研究反应堆。其中，有100多座仍然以高浓铀为燃料。这种燃料因为很容易被用于制造核爆炸装置，所以被认为是高风险核材料。

作为旨在尽量减少和最终消除民用核应用中的高浓铀而正在制订的国际准则的一部分，研究反应堆营运者们正愈来愈多地与国家和国际机构合作。他们被鼓励和支持改进其有关实物保安的安排，把反应堆改造成燃烧低浓铀燃料，以及将辐照过的燃料运回到原产国。

### 减少高浓铀的使用

20多年来，原子能机构一直在支持那些与减少国际商业中的高浓铀数量有关的国际努力。一些项目和活动直接支持了美国1978年发起的“降低研究反应堆和试验反应堆燃料丰度”的计划。原子能机构的工作还支持旨在把研究反应堆燃料返回到原浓缩国家，即所谓的“取回”活动的努力。

原子能机构的主动行动包括开发和维护若干个与研究反应堆及其乏燃料存量有关的信息数据库。这些数据库一直是规划和管理“降低研究反应堆和试验反

应堆燃料丰度”计划和取回计划所必不可少的。原子能机构在通过技术合作和其他渠道开展的活动中，一直支持把研究反应堆改造为使用较低丰度的燃料。

在其他方面，原子能机构还支持开展专家间信息交流，与其他组织共同主办“降低研究反应堆和试验反应堆燃料丰度”年度国际会议（2006年10月底，将与南非共同主办本年度会议）。原子能机构还与挪威合作，组织了2006年6月的“最大限度地减少民用核部门的高浓铀国际专题讨论会”。在这次讨论会上取得的共识表明，低浓铀可以被用于几乎一切正在使用高浓铀的应用。

2004年，在美国建立“减少全球威胁倡议”和“降低研究反应堆和试验反应堆燃料丰度”会议提出建议后，原子能机构对“降低研究反应堆和试验反应堆燃料丰度”计划和取回计划的支持进一步加强。共同的目标是通过消除或整合高风险材料的存量，减小扩散风险和安全风险。

本文概要介绍原子能机构正在集中努力的几个领域。

### 技术支持和援助

原子能机构的经常计划活动集中于建立高浓铀最少化的技术基础。具体包括支持把研究反应堆燃料改造为低浓铀、利用低浓铀生产放射性同位素，以及为研究反应堆的新燃料和乏燃料运输提供全面的计划支持。

此外，那些进行低浓铀研究反应堆燃料开发、验

证和许可证发放的国家和国际努力，也得到原子能机构的支持。原子能机构还正在编写一份用于燃料供应谈判和支持燃料开发活动的参考手册。一些燃料元件制造商和国家实验室已经开发出一些适合于在世界大多数研究反应堆中利用低浓铀的燃料类型。

在最近一些年中，对原子能机构援助研究反应堆改造的请求已经显著增加。在一些场合（例如在智利），技术援助是针对国产低浓铀燃料的制造和质量鉴定提供的。在另一些场合（例如在罗马尼亚TRIGA研究反应堆），原子能机构通过采购商业生产的低浓铀燃料组件来完成这种改造。在葡萄牙，原子能机构正在为完成一座研究反应堆的改造而采购全低浓铀堆芯提供支持。在波兰，原子能机构正在采购低浓铀燃料以完成Maria研究反应堆的改造。

## 医用放射性同位素的生产

被称为钼-99、其衰变产物为锝-99m的元素，是世界上应用最广的医用放射性同位素。人们用它每年进行2000多万次的诊断试验。绝大多数的钼-99是由4家大商业公司利用高浓铀靶生产的。不过，在最近一些年中，阿根廷和澳大利亚已经有能力证明用低浓铀生产钼-99的技术可行性。

2005年，原子能机构启动了一项涉及10个国家的协调研究计划。目的是为使用低浓铀或中子活化方法进行钼-99小规模本地生产开发几种技术。智利、哈萨克斯坦、利比亚、巴基斯坦和罗马尼亚的科研单位正在得到阿根廷、印度、印度尼西亚、大韩民国和美国的建议和技术援助。

---

国际原子能机构正在参与各种旨在尽量减少依赖高浓铀和鼓励“取回”乏燃料的倡议。

---

在利比亚，原子能机构对根据与美国和俄罗斯的三边协议，为改造塔朱拉临界装置和研究反应堆所获得的燃料进行质量控制检查提供技术援助支持。原子能机构正在提供池边监测和目视检查系统，以及该系统的使用培训和技术援助。

保加利亚、哈萨克斯坦、乌克兰和乌兹别克斯坦也已经请求在有关低浓铀堆芯改造的国家技术合作项目下提供援助。在牙买加，将启动有关SLOWPOKE反应堆的全堆芯改造国家项目，该项目将得到加拿大和美国的技术和财政援助。

虽然许多研究反应堆仍然需要改造成使用低浓铀燃料，但是原子能机构已经在高瞻远瞩，考虑扩大未来改造工作的范围。在2006年2月举行的一次由政府组织和非政府组织代表参加的会议上，提出了正在运行的使用高浓铀设施的最新清单。会上还讨论了使用高浓铀的其他设施，例如临界装置、脉冲反应堆和民用推进用反应堆。已计划召开后续会议。

## 俄罗斯的“取回”活动

“俄罗斯的研究反应堆燃料返回计划”重点集中于回收已经辐照的俄罗斯原来向国外设施供应的研究反应堆燃料。该计划是对原子能机构努力的引申发展。2000年，总干事穆罕默德·埃尔巴拉迪写信给拥有这类材料的15个国家，询问其对把这类材料返回给俄罗斯的兴趣。并且组织了一系列的“三方倡议”会议，帮助推动2004年5月美国－俄罗斯双边协议的缔结。

帮助各国开展这种“取回”活动的主要渠道是通过原子能机构的技术合作项目“研究反应堆新燃料和（或）乏燃料的送回、管理和处置”。设立这个项目的目的是支持新的或辐照过的高浓铀和低浓铀燃料返回俄罗斯。

设在美国的非政府组织“核威胁倡议”提供的赠款，已使原子能机构能够在制订俄罗斯研究反应堆乏燃料“取回”计划中发挥重要作用。原子能机构正在

与美国专家和俄罗斯专家一起组织和实施对12个国家研究反应堆设施的实况调查出访。这笔赠款对与支持俄罗斯研究反应堆燃料返回有关的技术和项目管理活动继续给予支持，包括编写讲习班文件、培训文件和指导文件，以及为该计划拟定和实施资源动员活动。

2002年8月，为使温萨研究所的48千克新的高浓铀燃料返回俄罗斯联邦，原子能机构与美国、俄罗斯、塞尔维亚和“核威胁倡议”进行了合作。“核威胁倡议”为在塞尔维亚的3个原子能机构技术合作项目提供了500万美元。这是与美国政府、俄罗斯联邦政府以及塞尔维亚政府达成的一项协议的一部分。

这些原子能机构项目的目的是从塞尔维亚安全地移出2.5吨经辐照的高浓铀和低浓铀，并将其安全地运往俄罗斯联邦的马雅克后处理厂；改善温萨研究所的放射性废物管理设施（包括建设一个高活度源的安全贮存设施）；以及制订温萨研究反应堆的退役计划。

2006年，有关温萨研究反应堆的乏燃料项目已经取得重要进展。原子能机构正就温萨研究所的乏高浓铀和低浓铀燃料的再包装和运输与一个承包商进行最终谈判。除来自“核威胁倡议”的赠款外，美国能源部也已承诺为这些高浓铀乏燃料的包装、运输和后处理提供资源，而且欧盟似乎也很可能将承诺为该项目提供重要资源。这将导致有约1500万美元的资源可供使用。为在2009年以前完成这个项目，还需要约1000万美元。（见本期第20页“警钟嘀嗒作响”。）

## 新燃料和乏燃料的运输

原子能机构经常开展与新燃料和乏燃料运输的规划活动有关的研究。这些研究包括：分析各种运输屏蔽容器选择方案；评估运输路线；以及就破损的研究反应堆燃料的搬运提出建议。

2003年9月以来，原子能机构已利用美国能源部提供的预算外资金，为6个国家（保加利亚、捷克共和国、拉脱维亚、利比亚、罗马尼亚和乌兹别克斯坦）的7批新高浓铀燃料的货运签订了运输服务合同，使约120千克新高浓铀燃料得到移出。另外的5批到6批货运计划在2006年下半年进行。

此外，原子能机构还正在采购价值400万欧元（美国能源部捐助）的10个大容量运输和贮存屏蔽容



在2006年8月完成的一次出访中，原子能机构曾帮助波兰主管部门从华沙附近的一座核研究反应堆移出约40千克高浓铀。

器。这些到2006年12月可供使用的屏蔽容器最初将用来装运捷克共和国列日核研究所的乏燃料。此后，它们将免费用于运输俄罗斯取回计划下的其他辐照过的研究反应堆燃料。

## 为实现全球目标作贡献

原子能机构正在为服务于减少高风险核燃料使用的国际努力做重大贡献。为高浓铀最少化制订的那些计划涉及世界各地拥有研究反应堆的国家。

通过原子能机构支持的各种渠道，那些计划正在关键领域得到技术支持和技术援助。原子能机构在这方面所做的工作包括与在该领域具有广泛经验的政府组织和非政府组织以及专家结成伙伴关系。原子能机构已取得巨大进展，并为未来岁月取得进一步进展建立了合作基础。

---

Pablo Adelfang是国际原子能机构研究反应堆活动交叉协调员和核能司研究反应堆股股长。电子信箱：[P.Adelfang@iaea.org](mailto:P.Adelfang@iaea.org)。

Ira Goldman是研究反应堆股科学秘书。电子信箱：[I.Goldman@iaea.org](mailto:I.Goldman@iaea.org)。



# 为确保塞尔维亚核弹级废物安全 警钟嘀嗒作响

在塞尔维亚首都贝尔格莱德郊外，核武器级废物置于一个朦胧的水池中。这些废物有可能成为制造脏弹——大量脏弹——的材料。原子能机构的一个视察员小组正在这个温萨设施（温萨核科学研究所的一座已关闭研究反应堆）核实池中的废物没有丝毫损失。

这些燃料元件尺寸小，可以放到手掌中。每个元件都是钚和高浓铀废物的放射性混合物。对设施保安水平深表忧虑的温萨前业务经理Obrad Sotic说：“最大的威胁当然是恐怖主义者。”Sotic等专家说，恐怖主义者用燃料元件制造核弹是很困难的。但是如果有人用炸药把哪怕是一根燃料元件作为粗制“脏弹”炸开，其放射性气溶胶便成为恐怖武器。

Sotic先生说，“对于准备自杀的恐怖主义者来说，偷许多这些燃料元件（元件很轻，容易被拿走）并且用作脏弹将不成问题”。

两位原子能机构视察员掀开水池覆盖物，视察其中的乏燃料。乏燃料仍浸在已在其中冷却30年的不动水中。这个乏燃料贮存间的大小与25米游泳池差不多，其中仍贮存着苏联为向俄罗斯联邦境外研究反应堆提供燃料而生产的高浓铀燃料的一半以上。

驱使原子能机构和塞尔维亚人关切温萨的不仅是恐怖主义风险。池中的燃料元件正在锈蚀并且把

辐射浸到水中。Sotic博士警告说：“燃料在这种条件下长时间贮存，将开始泄漏，高放射性的裂变产物将向外弥散，自然将危害这个贮存间和这里的工作人员。而且，如果燃料泄漏愈来愈严重，便会危及周围环境”。

当原子能机构视察员在其视察对象附近来回走动时，盖革计数器响个不停。人们担心污染物会渗入地下水或通过通风系统逃逸。

---

在燃料和设施进一步恶化以前，现在该是移出燃料和开始退役的时候了。

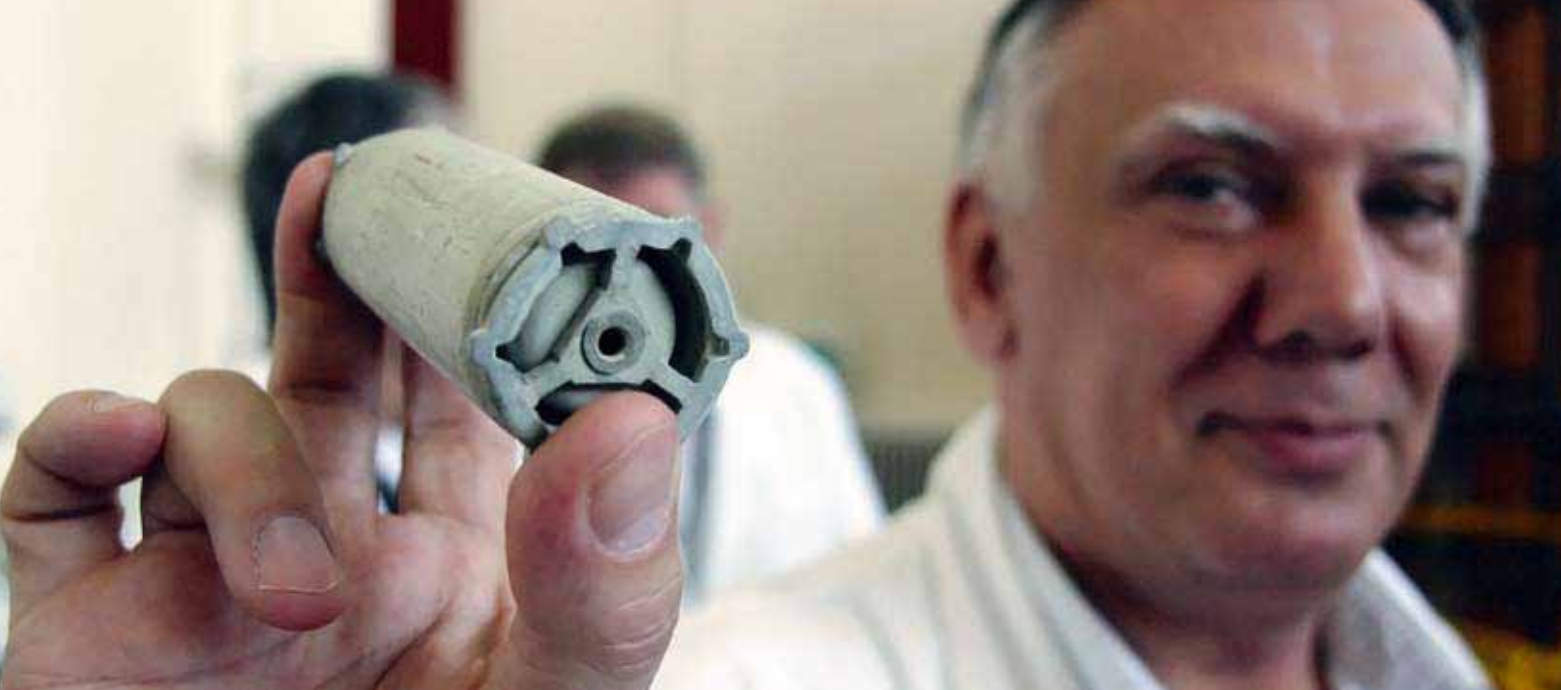
——Mike Durst

---

这个场地附近有一个4000名居民的村庄。Dobriša Marković在距这个场地5分钟车程处开了一个小商店。这位3个孩子的母亲说：“我不担心污染。但是在上次战争中，我曾担心这个设施被炸和散出辐射来。”

虽然经过几次巴尔干战争以及南斯拉夫和苏联解体等几次大的动荡后，水池中核弹级废物仍保持安全状态。但是在今天的核恐怖主义恐怖盛行的气候中，温萨的处于这种条件下的核弹级废物便对可能的核偷





盗者产生很大的吸引力。

Mike Durst是原子能机构负责场地清理工作的联络员。他说：“这些燃料显然既是环境问题又是扩散问题。因此，为了预防发生环境危害，以及当然预防这些材料落入坏人手中，我们必须处置好它们。而且，现在正是合适的时机。”

这是一项复杂、费用高的工作。所需费用超过1000万美元，但是资金短缺。有关将这些核燃料运回俄罗斯的一些计划正在制订中。在苏联时期，俄罗斯为驱动温萨的一座核研究反应堆供应了这些燃料。这座反应堆22年前被关闭。

在原子能机构的支持下，2002年8月23日完成的一次夜间行动，使几乎50千克未用的高浓铀燃料移出这座反应堆。这次行动曾封闭半个塞尔维亚，涉及了1200名武装军人。这些足够制造两个简单核弹的高浓铀被空运到俄罗斯的季米特洛夫格勒接受后处理。Durst等人说，剩下的乏燃料现在也需要运回俄罗斯。

在后勤上，这是一项困难得多的行动。Durst先生说：“这几乎像拿一个灯泡与太阳相比：它要复杂得多得多。”他说：“这种燃料是高放射性的，正在泄漏，因此一切操作都必须在远距离进行。”必须使用一些设计成能远距离操作的专用工具，把燃料从现在的容器中移出来。燃料一旦重新包装，就放入获得国际运输特别许可的严加屏蔽的运输容器中。

Durst先生说：“我们将跨越一些国际边界来运输，整个行动将需要许多时间、经验和资金。”

计划2006年9月在原子能机构的维也纳总部召开捐助者会议，以增加人们对行动的了解和募集所需要

的资金。来自“核威胁倡议”（500万美元）、美国（400万美元）和原子能机构的技术合作计划（150万美元）的捐款，将是实现燃料移出行动的第一步。

温萨在乏燃料被移出之前，仍是一个有诱惑力的恐怖主义目标。塞尔维亚科学部部长Aleksandar Popovic说：“我们必须填上移出这些燃料所需要的资金缺口。我们必须确保温萨没有受到可能的恐怖主义攻击和受到环境危害的危险。”

原子能机构正在为加强温萨的保安和保护措施与塞尔维亚进行密切合作，从安装中央控制报警器和新的通风系统到建设一些可靠的贮存区，原子能机构开展了很多活动。Popovic部长说：“没有原子能机构提供的这些帮助，我们不可能完成这些工作。”

当务之急是移出这些乏燃料。Obrad Sotic认为，这一天不可能很快到来。他说：“乏燃料变得一天比一天危险。而这正是我们必须尽快运出这些乏燃料的主要原因。”

——国际原子能机构全职记者Kirstie Hansen

---

本页照片：这里所说的燃料元件虽然与左边这个元件相似，但却是危险放射性的。每个燃料元件都是钚和高浓铀废物的混合物。如果有人用炸药把哪怕是一个元件作为粗制炸弹炸开，其放射性气溶胶便能杀人和污染环境。

第20页照片：国际原子能机构视察员在视察乏燃料。来源：国际原子能机构。