

放射性同位素热电发生器的退役

Malgorzata K. Sneve

数百个旧的大放射源在俄罗斯西北海岸线星罗棋布。这些被称为放射性同位素热电发生器的源，主要为遥远的灯塔供电。现在这些供电组件正在被安全地拆除。挪威在帮助俄罗斯完成这项任务。

数百台放射性同位素热电发生器沿着俄罗斯联邦的北极海岸排列展开，为遥远的灯塔和导航信标供电。在俄罗斯联邦以及前苏联的其他偏远地区，类似的放射性同位素热电发生器也曾被用作电源。俄罗斯的所有放射性同位素热电发生器都已超出其自身的使用寿命，需要退役。涉及这些电源的放射性事件（如在格鲁吉亚的事件）使得电源的退役刻不容缓。

放射性同位素热电发生器通常包含一个或多个放射性核素热源，每个热源都具有数千太贝可勒尔镭-90的放射性。这意味着，这些放射源属于国际原子能机构《放射源安全和保安行为准则》中所定义的第一类放射源。事实上，这些放射源是人类曾经使用过的最大的单一放射源之一。

据俄罗斯联邦原子能机构透露，俄罗斯联邦各地有651个到了退役时间或者需要用替代能源予以更换的放射性同位素热电发生器。1993年，在相对靠近挪威边境的俄罗斯西北部摩尔曼斯克和阿尔汗格尔斯克地区的灯塔中，曾有差不多200个放射性同位素热电发生器。

由于这些灯塔所处地区偏远，放射性同位素热电发生器的维修及保护很难保证。大多数俄罗斯的放射性同位素热电发生器没有设置防止入侵的防护措施，因而曾经发生多起非法干扰的例子。虽然无证据证明

有人想把这些放射源用于恶意目的，但已经发生过一些偷盗屏蔽材料（可能是作为废金属卖钱）而丢弃放射性同位素热电发生器的事件。

不用说，对这些放射源可能被误用以及放射性同位素热电发生器持续维护和安全使用的担心一直在增加。这已成了一件国内外所关心的事情。在与俄罗斯主管当局充分合作以使这些放射性同位素热电发生器安全退役和提供替代能源的国际努力中，挪威政府发挥了重要的作用。

十几年来，挪威积极支持改善俄罗斯西北地区的核安全和核保安。在这期间，挪威政府在全类工业项目上已经花费了大约1.5亿美元，包括放射性废物处理和贮存、实体保安以及基础结构配套支持方面的具体改进工作。作为国家主管部门的挪威辐射防护管理局积极参与就所有这些活动的轻重缓急和质量保证问题向挪威政府献计献策。

此外，行动计划高度重视充分的管理监督。因此，挪威辐射防护管理局的计划包括各类监管支持项目。这些项目的设计目的在于帮助俄罗斯主管部门在考虑到国际原子能机构这样的实体制定的国际标准和建议的基础上，确保这项工作能够在俄罗斯法律框架下得以适当完成落实。挪威辐射防护管理局和俄罗斯各监管实体之间的监管合作在维持监管过程的效率和效果方面至关重要。

使放射性同位素热电发生器退役： 工业支持

自1997年以来，挪威政府一直在实施一个旨在支持俄罗斯西北部地区放射性同位素热电发生器退役工作的工业项目。项目启动以来，已经有60多台放射性同位素热电发生器从科拉半岛的灯塔中拆除，目前正在采用太阳能板和镍-镉电池组予以替换。

作为该项目的一部分，放射性同位素热电发生器经过检查后通过直升机、船和汽车转运到摩尔曼斯克附近原子能运输公司“原子码头”的一处临时贮存点，然后再通过汽车及火车运输到莫斯科地区的拆卸点拆除放射性核素热源。最后，通过汽车和火车将放射性核素热源运到FSUE PA“马雅克”贮存起来，等待最终处置。

虽然放射性同位素热电发生器的退役对保安、环境保护和放射防护具有重要意义（如排除对当地环境、公众安全的威胁，以及消除滥用放射材料源的可能性），但退役处理过程不是没有风险。退役本身可能导致放射性的和其他环境方面的影响和风险。而且，有关放射性同位素热电发生器的运营和监管责任在过去的数年里已经发生变化，包括从军用管理到民用管理的变化。因此，审视这种情况以权衡相关风险是必要的。

挪威辐射防护管理局与一些俄罗斯组织机构合作，对俄罗斯西北部地区放射性同位素热电发生器退役的环境、健康和安全等方面的影响进行了评价研究。得出的结论是，退役项目应该继续进行，因为听任放射性同位素热电发生器留在原地，得不到适当监视，可能导致我们不愿见到的对放射性材料的接触或使用。

还需要注意的是，相关主管部门和组织机构需要明确它们各自在放射性同位素热电发生器的检查、收集和拆除以及由此而产生的放射废物的贮存和处置这一整个过程中担负的责任。而且，对放射防护方针也应该进行审查，必要时，按正确程序和核查清单进行修正，以确保符合规定要求。认识到给予监管支持以帮助实现这个目的必要性。

监管支持

挪威辐射防护管理局对俄罗斯联邦的监管部门提供了支持。监管支持的总目标是帮助俄罗斯的

何谓 放射性同位素热电发生器？

放射性同位素热电发生器是通过放射性衰变实现供电的简单发电机。在放射性同位素热电发生器里，放射性材料衰变释放出热能，热能通过一系列热电偶被转换成电能。放射性同位素热电发生器可以被看成是一种电池组，并且作为电源，已被广泛用于卫星、宇宙探测器和灯塔这样的无人遥控设施。通常，对于长时间地需要几百瓦或更低功率的无人看管和不需维护的情况，放射性同位素热电发生器是最理想的电源，而燃料电池、电池组和发生器无法这么长时间在太阳能电池不可行的场合经济地提供电源。



放射性同位素热电发生器采用有别于核电站所使用的制热工艺过程。核电站通过原子核裂变释放出导致其他原子产生裂变的中子链式反应，实现发电，这样使数量众多的原子快速反应，从而产生发电所需的大量热能。

链式反应不会在放射性同位素热电发生器的内部产生，所以“核熔毁”就不可能发生。事实上，放射性同位素热电发生器的设计目的就是使裂变根本不可能发生；而使各种不能触发其他放射性衰变的放射性衰变得到应用。所以，放射性同位素热电发生器中的燃料消耗相当慢，产生的电能也就小。

尽管如此，放射性同位素热电发生器仍然是一种潜在的放射污染源：如果装燃料的容器出现泄漏，放射性材料就会对环境产生污染。为了使放射性材料释放的风险降到最低程度，燃料被贮存在具有自备屏蔽的单独模块装置内。

格鲁吉亚的放射源回收

在2006年夏追踪格鲁吉亚丢失的放射源运动的前三天，两个已被废弃的具有潜在危害的放射性装置成功地得到安全管理。这种已被废弃的放射源被称为孤儿放射源。

格鲁吉亚环境部和国际原子能机构工作组，在搜寻与外界隔离的拉查高山地区时，在一座已废弃工厂地面的一堆垃圾里发现了一个强放射源。该工作组还在一所房子内工作台上一只装有螺母螺栓的白铁罐里发现了第二个较小的放射性稍弱的放射源，仅有一层很薄的木墙将该放射源与家庭卧室隔开。

在放置第一个放射源的伊里村，放射源的放射本底水平高出该村中心正常水平值12倍。

“如果有人把这种放射源捡起来放在自己的口袋里一段时间，很有可能导致严重的伤害，甚至死亡”，国际原子能机构放射源专家Carolyn Mac Kenzie说。Kenzie参加了本次任务的启动活动。

村民们被这些发现震惊。当装备有传感器的格鲁吉亚检查员对残损的建筑群实施全面搜寻时，站在伊里村内被遗弃的工厂附近的14岁格鲁吉亚小孩Salome Gagnigze说：“当然，没有人想到放射源就在这里。”

废墟内有一个牲畜棚，但继续被农民用作储藏所。整齐的豆秸垛离发现放射源的地方仅数米之遥。

在第二个村庄利克毫拉，村民们在得知发现了放射源之后，要求调查人员对自己的房屋进行检查，看是否存在放射源。

两个放射源的放射性同位素都是铯-137。铯-137是一种强 γ 发射体，是工业中用于仪表检测材料缺陷和工业测量的最常用放射同位素之一。搜寻工作组装备了新型背负式高性能仪器，对发现和确定这两种放射源的具体位置很有帮助。

因为无记录可查，搜寻工作组负责人说，他们无从知晓这两个放射源的具体来历。第一个放射源可能在工厂被废弃时没有引起重视，第二个放射源估计被捡了起来并放到了现在的这间屋里。这两个放射源最初很可能被装在带屏蔽的容器里。

自20世纪90年代中期以来，已经有多达300个放射源被回收。受到影响的公众中至少有一人死亡，多人受到伤害。

用来为放射性同位素热电发生器提供动力的无屏蔽铯-90源，属于所发现的最强的孤儿放射源。一些放射性同位素热电发生器，最初作为独立的发电器被放置在偏远地区，至今情况仍不清楚。

苏联解体后，格鲁吉亚的经济急剧下降，工业应用中的放射源失去控制。收集和出售废弃工厂的废金属，成了谋生的一种手段。一些孤儿放射源就是在废

监管实体为工业项目的规划、批准和实施制订导则和要求。

在放射性同位素热电发生器监管支持项目中，挪威辐射防护管理局的主要合作伙伴是俄罗斯联邦核能、工业与环境管理局。不过，所有相关组织机构（例如，那些与运输有关的组织，来自俄罗斯联邦和西方组织的营运者和监管者）共同努力是很重要的。这就是“2+2方法”。俄罗斯和西方营运者不仅在该工业项目上进行合作，而且在该工业项目的批准/核准方面进行合作。

为了向俄罗斯监管者提供最直接相关的国际输入，挪威辐射防护管理局让来自其他国家（包括法国、瑞典和英国）的监管者和技术支持组织加入到该项目中。

威胁评估

作为监管支持项目的第一步，进行了初始辐射威胁评估，以明确放射性同位素热电发生器退役工作中各工作阶段，并根据各工作阶段带来的主要辐射威胁确定监管行动的优先事项。确定了从营运者对放射

品运输中发现的，在以前的军事基地也发现了许多孤儿放射源。

促使回收孤儿放射源的另一个因素是人们担心，如果某些放射源落入恐怖分子手中，则很有可能被用于放射性散布装置。

1997年以来，国际原子能机构一直与格鲁吉亚一起，努力提高辐射安全水平和确保孤儿放射源的安全。由美国通过国际原子能机构技术合作计划资助的最新调查和回收任务，对离首都第比利斯西北大约300公里的拉查山区进行了一次彻底的搜查，重点是里奥尼河谷的原工业中心，这里是格鲁吉亚最后一处未进行过孤儿放射源搜查的地区。

不过，Mac Kenzie女士说，对放射源不负责任的问题不仅仅局限于格鲁吉亚。她说：“尽管改善后的安全已经有了很大的进步，但仍经常有放射源被丢失和发生事故的事件报道。这是一个全球性问题，是放射源控制和管理仍需改进的一个信号。然而，在医疗应用、工业和科研领域，放射源又是一种给社会提供巨大利益的不可替代的工具。”

国际原子能机构向格鲁吉亚提供的技术援助是国际原子能机构为改善放射源和核材料保安的全球努力的一个组成部分。格鲁吉亚即将开始一座将用于贮存放射源的新建安全贮存设施调试的最后阶段。

——《国际原子能机构工作人员报告》，
Peter Rickwood



格鲁吉亚环境部辐射专家Lerry Meski在检测一座被废弃的工厂，在国际原子能机构资助的任务中曾在该厂发现一个强放射源。（照片：国际原子能机构P.Pavlicek）

性同位素热电发生器的起点检查到将其装入船舱、放入临时存放点、再经铁路和公路运到FSUE PA“马雅克”进行最终处理的一系列工作阶段。

必须解决每个放射性同位素热电发生器与这些工作阶段相关的风险。这是通过制订退役计划、编写安全分析报告和环境影响评估报告完成的。在每个放射性同位素热电发生器的退役工作开始前，都应该制订退役计划和编写这些报告。

虽然不同的放射性同位素热电发生器之间的计划和评估存在着共性特征，但计划的设计必须考虑到每

个放射性同位素热电发生器的具体特点（所处位置、经历的时间、状况等）和该放射性同位素热电发生器的退役过程具体情况。

放射性核素热源实体形式的设计应使放射性的重大扩散或泄漏现象完全不可能发生，即使在严重撞击、大火、长时间遭水浸泡（例如海水）或爆炸（假设为蓄意）这样极端情况下也不可能发生。

主要放射威胁是在安全屏蔽被拆除或不再有效的情况下，直接遭受放射源的射线照射。重点营运部门必须采取相应措施，以减少这种威胁。这些措施需要

放射性同位素热电发生器 事故

1999年 列宁格勒

一个放射性同位素热电发生器被发现遭受到金属掠夺者的破坏。在金吉谢普镇的一个公交车站该放射核素热源芯核被发现还在释放放射性。这一放射核素热源芯核已被回收。

2001年 摩尔曼斯克地区坎达拉克沙

位于该地区灯塔中的三个放射性同位素源被盗，这三个放射性核素热源已全部被找到并被送往莫斯科。

2001年 格鲁吉亚

2001年12月，三名护林工人在格鲁吉亚偏僻的因古尔河谷自己的营地附近发现了两件释热陶瓷物体。发现这一事件的其中两名护林工人背上这些容器，在历经数小时的射线照射中出现恶心、呕吐和头晕，第三位带着连接有导线的释热源。在格鲁吉亚第比利斯的一家医院，这几名护林工人被诊断患有放射病并伴有严重的照射灼伤，三名中至少有两名病情严重。2002年初，一个格鲁吉亚工作组在国际原子能机构的帮助下收回了这些放射释热源。这些放射释热源是前苏联时期两个放射性同位素热电发生器的无屏蔽陶瓷核素源，每个含有大约3万居里的铯-90。其中两名受害者在巴黎和莫斯科的医院接受了许多个月的医疗治疗后才从严重照射灼伤中恢复过来。

2002年 西格鲁吉亚

察伦吉哈地区的三名牧羊人在附近的森林中偶然发现一些放射性同位素热电发生器，之后他们遭到了大剂量的射线照射。事故后不久，国际原子能机构证实，在苏联时期，有8个这样的发生器同时被发运到格鲁吉亚。

2003年 开普皮里沙尔邻近列宁格勒库尔戈洛夫地区

一个放射性同位素热电发生器被一些捡金属的人破坏。这个破坏的发生器被发现离灯塔200米远，淹没于波罗的海浅滩，后被一个专家组运走。

2003年 白海岛山

北洋舰队军人发现，在岛山的小岛上，一座由放射性同位素热电发生器供电的灯塔的金属被盗。灯塔门已遭武力破坏。该灯塔安装有一个具有六个放射核素热源的功率特别大的放射性同位素热电发生器，这些热源当时尚未取走。

来源：贝罗纳基金会。这些事故报告选自有关前苏联、俄罗斯以及独联体国家放射性同位素热电发生器的综合事故清单。

针对这一过程中的所有阶段进行系统地规划，并在退役计划和安全环境评估中提出建议。

明确任务，缩小差距

俄罗斯联邦核能、工业与环境管理局已经认识到，鉴于问题的重要性和相关危害的严重性，以及缺少这方面的管理经验，有必要为俄罗斯联邦境内放射性同位素热电发生器的安全退役和处置改进监管框架。

监管支持项目的目的是更新俄罗斯联邦境内放射性同位素热电发生器安全退役和处置的现有监管框架。重点是优先考虑下述几个方面：

- ◆ 基于初始威胁评估的监管要求；
- ◆ 数据、安全评估和质量保证的要求；
- ◆ 辐射安全和保安（包括实体保护）的监督；
- ◆ 基于放射性同位素热电发生器退役各阶段的环境影响评估的应急准备与响应的要求。

其他有关方面包括编制检查手册、人员培训及资格认证、符合性监测；以及向公众提供信息。

首要的任务是分清所涉不同组织机构尤其是运营者和监管者在放射性同位素热电发生器的安全和保安方面的作用和责任。目的是确保责任分工明确、监管控制与符合性要求协调一致、整个管理过程中每个阶段的责任能够有效移交，而且在俄罗斯的监管制度内充分透明。在这些方面还有一些差距。

这项任务不但需要阐述有关仍在原地的放射性同位素热电发生器的作用和责任，而且还包括那些涉及退役的其他阶段的相关工作，包括全部放射性同位素热电发生器及放射核素热源的运输、放射性同位素热电发生器的拆除，以及放射核素热源的存放和最终处置。

除此之外，俄罗斯联邦核能、工业与环境管理局有责任对俄罗斯联邦境内的全部放射性同位素热电发生器进行监管、控制和监督，但军事部门的辐射安全和核安全则由国防部负责。因此，国防部拥有自己的军事核监管实体，而且俄罗斯联邦核能、工业与环境管理局常常不能获准进入安装有放射性同位素热电发生器的军事区。

按照国家1、2类放射源注册行为准则要求，营运组织正在通过并行的工业项目建立有关每个放射性同位素热电发生器的综合性信息数据库，包括这些放射性同位素热电发生器的位置、情况说明、主要特性（放射源的大小）以及相关的潜在危害。所建立的数据库还将提供每个放射性同位素热电发生器的具体缺点方面的评估。俄罗斯联邦核能、工业与环境管理局将根据从该数据库提取的信息分析，考虑所掌握的数据类型是否适合于所有位置和所有的放射性同位素热电发生器，从而确定信息中的需要通过工业项目来填补的空白。

另外一项主要任务是确定俄罗斯联邦关于放射性同位素热电发生器的监管规定，在考虑到国际标准和建议以及其他国家最好的实施办法基础上，研究现有的条例是否需要补充完善或修改和/或是否需要制定新的条例。另外，这种审查需要考虑这些放射性同位素热电发生器整个寿期不同阶段包括使用、回收、运输、退役、贮存和处置的安全和保安措施。然后将制定或修改通过这一过程确定为“缺少”或要求改进（并且完全属于俄罗斯联邦核能、工业与环境管理局职责范围内）的条例。

应用与实施

一旦完成基本监管基础结构的改进，建议对关系到俄罗斯联邦核能、工业与环境管理局在基础结构中的作用的一些具体方面提供进一步的支助。

因此，可以向俄罗斯联邦核能、工业与环境管理局提供评估能力建设方面的支持，使之能够独立于营运者完成其对涉及放射性同位素热电发生器各类活动的两项主要评估职能，即：

- ▶ 就进行满足放射性同位素热电发生器整个寿期各阶段的监管要求评估，为营运者建立监管导则；
- ▶ 对营运者为支持不同阶段许可证发放和批准申

请所递交的安全和保安评估以及环境影响评估进行决定性的审查和评价，作为监管决策的基础。

虽然放射性同位素热电发生器退役有重要保安、环境保护和放射防护意义，但这种过程不是没有风险的。

对按照更新后的监管要求来修改准备用于放射性同位素热电发生器寿期内的各个不同阶段的检查程序，或制定新的检查程序，也提供支持。另外，正在编制重点在于放射性同位素热电发生器安全和保安的检查手册。这将为跟踪和记录检查结果以及监测风险构建一套制度。这种安全审计跟踪将确保与条例相符合并有助于迅速查明任何违法乱纪，或潜在的问题。

最后，还在以下两个方面提供支持：一是就涉及放射性同位素热电发生器整个寿期任何阶段出现的事故或非授权行动的有关应急方案的要求制订监管导则，二是提高俄罗斯联邦核能、工业与环境管理局和技术支持组织机构在这类应急事件中履行职责的能力。

挪威政府继续支持俄罗斯西北部地区放射性同位素热电发生器的安全退役工作，包括与俄罗斯主管部门和对放射性同位素热电发生器退役广泛计划给予支持的其他国家密切合作。到目前为止，在挪威的支持下，该地区约三分之一的放射性同位素热电发生器已经拆除，没有发生事故。

有一点经验教训很明确：为实施这类工业项目，以使整个过程对于每个参与者都是安全而高效的，监管支持极其重要。

Malgorzata Sneve是挪威厄斯特罗地区挪威辐射防护管理局的高级顾问。电子信箱：Malgorzata.K.Sneve@nrpa.no。