

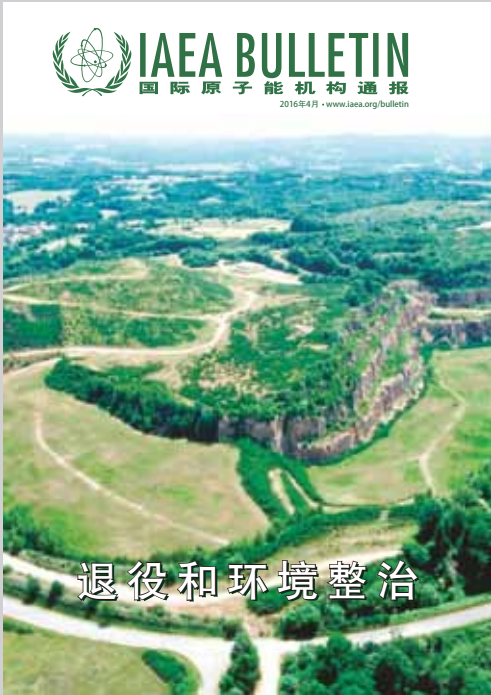
IAEA BULLETIN

国际原子能机构通报

2016年4月 • www.iaea.org/bulletin



退役和环境整治



退役和环境整治

《国际原子能机构通报》

主办单位

国际原子能机构新闻和宣传办公室

地址：P. O. Box 100, 1400 Vienna, Austria

电话：(43-1) 2600-21270

传真：(43-1) 2600-29610

电子信箱：iaebulletin@iaea.org

编辑：Miklos Gaspar

常务编辑：Aabha Dixit

特约编辑：Nicole Jawerth, Laura Gil Martinez

技术顾问：Vladan Ljubenov, Vladimir Michal,
Horst Monken-Fernandes, Patrick O'Sullivan,

Gerhard Proehl, John Rowat

设计制作：Ritu Kenn

《国际原子能机构通报》可通过以下网址获得：

www.iaea.org/bulletin

《国际原子能机构通报》所载的原子能机构资料摘要可在别处自由使用，但使用时必须注明出处。非原子能机构工作人员的文章，必须征得作者或创作单位许可方能翻印，用于评论目的的除外。

《国际原子能机构通报》任何署名文章中表达的观点不一定代表原子能机构的观点，原子能机构不对其承担责任。

封面：法国利穆赞地区Belleza铀矿场址环境整治的成功结果。

(图/法国阿海珐集团)



国际原子能机构（原子能机构）的使命是防止核武器扩散和帮助所有国家特别是发展中国家从核科学技术的和平、安全和可靠利用中获益。

1957年作为联合国内的一个自治机构成立的原子能机构是联合国系统内唯一拥有核技术专门知识的组织。原子能机构独特的专业实验室帮助向原子能机构成员国传播人体健康、粮食、水和环境等领域的知识和专门技术。

原子能机构还作为加强核安保的全球平台。原子能机构创办了有关核安保的国际协商一致指导性出版物《核安保丛书》。原子能机构工作还注重协助最大限度地减少核材料和其他放射性物质落入恐怖分子手中或核设施遭受恶意行为的危险。

原子能机构安全标准提供一套基本安全原则，反映就构成保护人和环境免受电离辐射有害影响所需的高安全水平达成的国际共识。已针对服务于和平目的（包括退役）的各种核设施和核活动，以及减少现有辐射风险的防护行动，制订了原子能机构安全标准。

原子能机构还通过其视察体系核查成员国根据《不扩散核武器条约》以及其他防扩散协定履行其将核材料和核设施仅用于和平目的的承诺情况。

原子能机构的工作具有多面性，涉及国家、地区和国际各个层面的广泛伙伴的参与。原子能机构的计划和预算通过其决策机关——由35名理事组成的理事会和由所有成员国组成的大会——的决定来制订。

原子能机构总部设在维也纳国际中心。现场和联络办事处分别设在日内瓦、纽约、东京和多伦多。原子能机构运行着设在摩纳哥、塞伯斯多夫和维也纳的科学实验室。此外，原子能机构还向设在意大利的里雅斯特的阿布杜斯·萨拉姆国际理论物理中心提供支持和资金。

退役和整治： 加强公众和环境的安全

文/天野之弥

核科学技术有许多有益的和平用途，包括产生能量和生产用于癌症治疗的放射性同位素。所有核材料连同其容纳设施在使用寿命终结时，都必须慎重加以处置。

就启动新核电计划的国家而言，在铺设第一块砖时，有关反应堆最终退役和乏燃料等材料安全处置的初步计划就应制订。还就应当如何为这方面提供资金做出提前规划。但情况并非总是如此：当今世界上正在运行的400多座核动力反应堆中，有许多反应堆在建设时都没有这样的要求。许多国家目前正在实施或制定这类设施的退役计划。原子能机构通过提供国际专门知识和近60年的经验，协助他们开展这项工作。

本期《国际原子能机构通报》（“通报”）重点介绍世界各地正在实施的良好实践。在西班牙，该国第一座核电厂的退役工作正在按预算如时进展（第7页），而在法国利穆赞地区，环境整治已经将从前的铀采矿场转变成公众娱乐区（第14页）。在中亚地区，原子能机构正在帮助政府安全地清理铀矿开采遗留下来的估计达十亿吨污染废物（12页）。

本期“通报”还研究了退役和环境整治方面的创新型技术和发展趋势（第22页），

向读者提供了退役管理者的生活一角（第10页）。我们阐释了开展研究堆退役工作的挑战。研究堆不同于核电厂，通常位于城市地区（第16页）。

专门技术

规划退役和环境整治的一个重要组成部分是知识共享。设施和场址业主可利用其他国家同行的经验，制定未来更好和更全面的计划。国际原子能机构起着合作平台的作用。我们还通过提供有关退役和核废物管理的安全标准和核安保导则发挥重要作用。

各国和设施运营者必须始终做好准备，应对由于核或放射性事故或工业事故所致放射性污染的可能性。适当的规划，使得有可能在事件发生时迅速而有效地做出响应，并最大限度地减少污染对人和环境的有害影响。在过去的五年里，原子能机构在这一领域向日本提供了重要的支持（第8页）。

我希望本期“通报”将增加对这些问题的认识，并对参加将于5月23日至27日在马德里举行的国际原子能机构“推进退役和环境整治计划的全球实施国际会议”的人员有所帮助。



“许多国家正在实施或制定设施的退役计划。原子能机构通过提供国际专门知识和近60年的经验，协助他们开展这项工作。”

—国际原子能机构总干事天野之弥



(图/国际原子能机构 C. Brady、P. Palivcek)

前 言



1 退役和整治：加强公众和环境的安全

退役和环境整治



4 退役和环境整治：综述



6 收尾工作：西班牙的成功退役项目



8 幕后：与退役工作者有关的常见问题



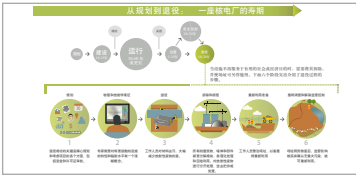
10 清理有毒遗产：中亚原产铀场址的环境整治



12 从铀矿山到钓鱼湖：法国利穆赞地区的环境整治



14 国际原子能机构工作组审查福岛第一核电站的退役活动



16 从规划到退役：一座核电厂的寿期



18 不可掉以轻心：研究堆退役



20 促进了解，提高安全：国际原子能机构为退役和环境整治提供服务



22 新技术在退役和整治中的应用

世界观点

24 核设施的退役：德国的经验

文/Boris Brendebach

26 核设施退役和环境整治的目前趋势

文/Juan José Zaballa Gómez

国际原子能机构新闻

28 新晋核电国家面临核基础结构发展的共同挑战

29 小型模块式反应堆的安全和许可证审批要求：

国际原子能机构举办首届监管人员讲习班

30 国际原子能机构达到放射源处置的里程碑

退役和环境整治：综述

文/Irena Chatzis



退役工作人员在核设施切割一台大型金属设备。
(图/英国塞拉菲尔德有限公司)

核 退役和环境整治有一个共同目标：减少在使用中需要限制放射性水平的场址对人和环境的辐射照射。

退役是在持有监管部门颁发的开展核或核相关活动许可证的设施寿期结束时计划开展的一项活动。它涉及使设施解除监管控制从而将场址放开供其他使用所需的一切活动（见本页资料框）。

而环境整治则涉及减少因从前民用或军用放射性物质活动所致土地、土壤和地下水污染的现有辐射照射（见第5页资料框）。

为确保安全而监督

退役和环境整治两者的目的是将残留的放射性水平降到足够低，使得场址可被无限制地用于任何目的。然而在某些情况下，这可能是不切实际的，对土地的未来使用也许要加以限制。例如，退役之后，一些场址可以被重新用于非核行业活动，而不用于居住。原来的一些铀矿开采场址可以解禁重新用作自然保护区或用于开展其他休闲活动。

无论退役还是环境整治都是重大的工业项目，必须确保其中的工作人员、当地公众和环境的安全，避免放射性危害和常规危害。因此，建立适当的法律和监管框架，以及对工作人员进行活动实施和监管性监督方面的培训，是确保安全的必要先决条件。

退役

退役是几乎所有工业设施寿期的一个正常部分。当设施不再服务于有用的社会或经济目的时，需要将其拆除，并使场址可另作他用。

在做设施的设计和规划时就要考虑退役要求。退役计划以及相关的费用估算需要提前做好准备，以确保有足够的财政资源。

退役计划和费用估算在设施寿期中会发生变化，随着寿期即将结束将逐渐变得更加详细。

然而，核工业早期建设的一些设施没有这样的计划。这些老旧设施还可能缺乏全面的设施配置记录和详细的运行历史说明。这种情况增加了退役过程的复杂性。

放射性废物管理

另一个重要的要求是有一个管理退役或环境整治产生废物的完善协调的系统。退役通常导致产生大量低水平放射性的物质。根据材料情况和国家法规，大部分废物可以按永久处置的国际安全标准在近地表处置设施中进行处置。有几个国家已经有了这样的设施；而其他国家在长期解决方案尚未确定之前不得不将这些废物材料作临时贮存。

所涉及的放射性废物量在工厂各个系统拆除之前通过对其进行去污能被显著减少。一些国家还有诸如通过熔化回收废金属的设施。高放或长寿命组分废物通常必须放置在地下深处的处置库中。

就环境整治而言，例如，如果需要清除土壤，然后将土壤作为废物处置，那么涉及的废物量会大得多。在这种情况下最好进行减容处理，例如可将高放污染土壤部分与低放污染土壤部分分开处置。

资金筹措

足够的资金是退役和环境整治项目的关键因素，这些项目一般都需要大量的费用。绝大部分需要退役或整治的场址都是国有的，实施费用要从国家预算中支付。通常情况下，分配给环境清理活动的资金量取决于政府的优先事项。

对于商用发电厂，筹措退役资金通常是电厂业主的责任。该资金通常通过专门用于支付退役费用的专项基金来投入，或者就一些大型公用事业公司而言，直接从该公司的经营收入和现金流中提供。

现状

尽管一些国家已经取得了实质性进展，但是许多国家在实施退役和环境整治计划方面面临重大困难。

将核设施全寿期管理计划落实到位是当今启动新项目的普遍要求。



铀尾矿覆盖和排水综合方案的实施。

(图/德国维斯默特公司)

环境整治

环境整治旨在减少受污染的土壤、废物贮存设施或其他受污染的基础设施、地下水或地表水造成的辐射照射。其目的是防止人和环境受到因电离辐射照射所致的潜在有害影响。这样的照射可能会由诸如铀矿开采和加工活动或发生核或辐射事故后放射性物质释放到环境而引起。

非核行业也可能产生放射性物质，例如石油和天然气生产，在其勘探和开采活动中可能受到天然存在的放射性物质的照射。

环境整治中有四大要素要考虑：

1. 污染导致的对人的辐射照射水平。
2. 减少辐射剂量和风险，使已有的资金、技术和劳动力资源得到最佳利用。
3. 不一定要将被污染场址恢复到污染事件之前的状况，而且往往是不容易实现的。
4. 在许多情况下，整治的主要驱动因素是公众对开展清理活动的风险和利益的认识。在这种情况下，当地社区的总体福祉是决定场址的计划最终状态的一个重要因素。

收尾工作：西班牙的成功退役项目

文/Laura Gil

“我们的建议是什么呢？提前计划，适时准备好所有相关的许可证审批文件，并密切、不断地监控所有作业的进展情况。”

—Enresa公司运营经理
Juan Luis Santiago Albarrán

全球范围内，157座已永久关闭的核动力堆中只有17座经历了全面退役——一个往往需要几十年才能完成的资源密集型过程。虽然这一过程复杂，但西班牙西部瓜达拉哈拉的一个案例说明，周密的计划、正确的政策和监管环境、政府的承诺和利益相关者的参与如何能够使成功退役易于实现。

按进度表，西班牙第一座150兆瓦电力输出的核电厂，何塞·卡夫雷拉核电厂的退役从开始以来几乎完成了70%的工作，并符合约1.5亿欧元（按2016年价格计）的初始预算。负责该项目的国家机构西班牙国家放射性废物公司（Enresa）计划到2018年完成退役。

何塞·卡夫雷拉核电厂的拆除不同于其他商业退役项目，后者通常是电厂运营者的责任，并由其实施。“西班牙的这个案例几乎是独一无二的，首先，因为退役由一个专门的国家机构负责。” Enresa公司运营经理Juan Luis Santiago Albarrán说。

在西班牙，工厂一关闭就发给退役许

可，工厂的管理权便从业主和营运者转到Enresa公司，后者既负责退役，又负责放射性废物的长期管理。

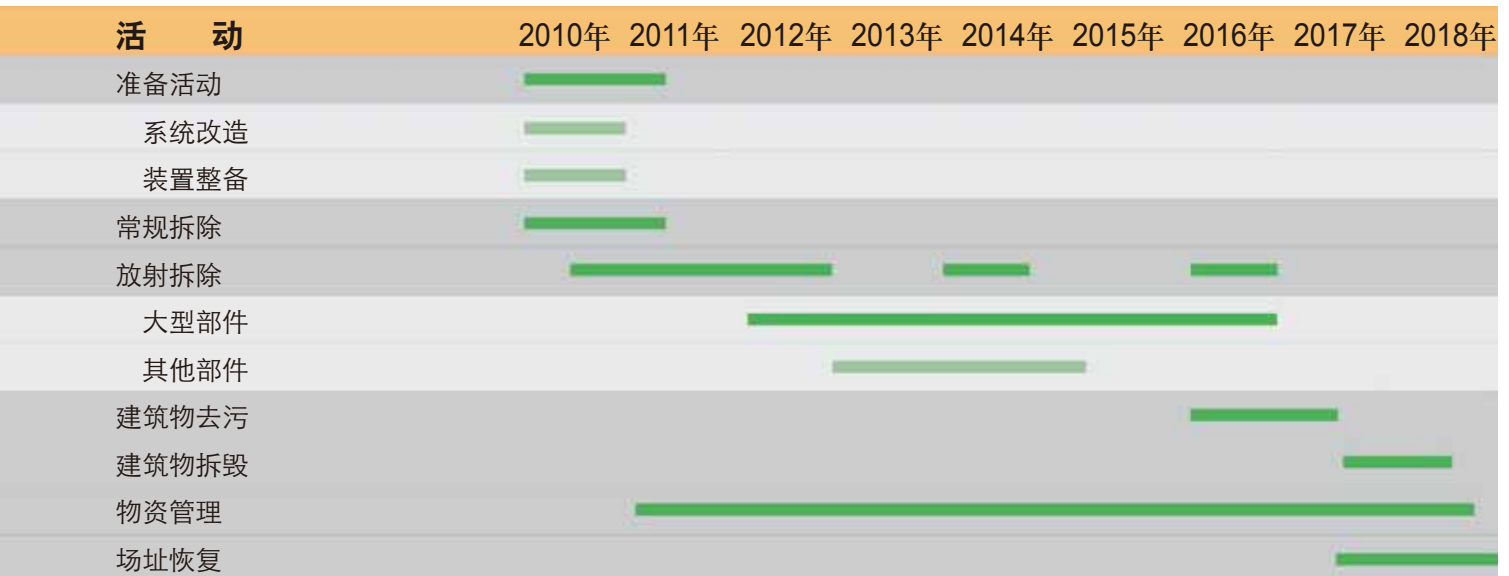
20多年来，Enresa公司一直是西班牙退役专业技能的中心，负责哈恩和巴达霍斯铀工厂和塔拉戈纳核电厂等涉及使用放射性物质的所有重要装置的退役。何塞·卡夫雷拉核电厂的退役是西班牙第一个在关闭后立即开始拆除的项目。

计划、再计划和创新

退役成功的关键是要精心规划，包括从开始到结束考虑项目的所有方面，Santiago Albarrán说。这些方面包括政府许可证审批和核准、拆除和去污作业、废物管理以及最终将场址归还其所有者。

Enresa公司在估计电厂退役期限需七年后，便于2006年在电厂关闭提前三年开始收集监管文件和许可证。到2010年，Enresa公司将必要的审批文件准备就绪，获得了退役过程的全部责任，并能开始实施该项目。

何塞·卡夫雷拉核电厂退役时间表



（资料来源：Enresa公司）

“我们的建议是什么呢？提前计划，适时准备好所有相关的许可证审批文件，并密切、不断地监控所有作业的进展情况。”

Santiago Albarrán说。

退役项目需要大量的创新来优化退役过程，最大限度地利用一切可以得到的工具，并减少潜在的危害。Enresa公司将有厚防护壁的汽轮机大厅改造用作废物管理设施，可以在那里处理、管理和贮存放射性废物。

这种探索、做好事情和创新的可能性增加了退役工作者工作的创造力，Santiago Albarrán说。“你应该做好应对意外情况的准备，应始终考虑各种解决方案。”

保护民众

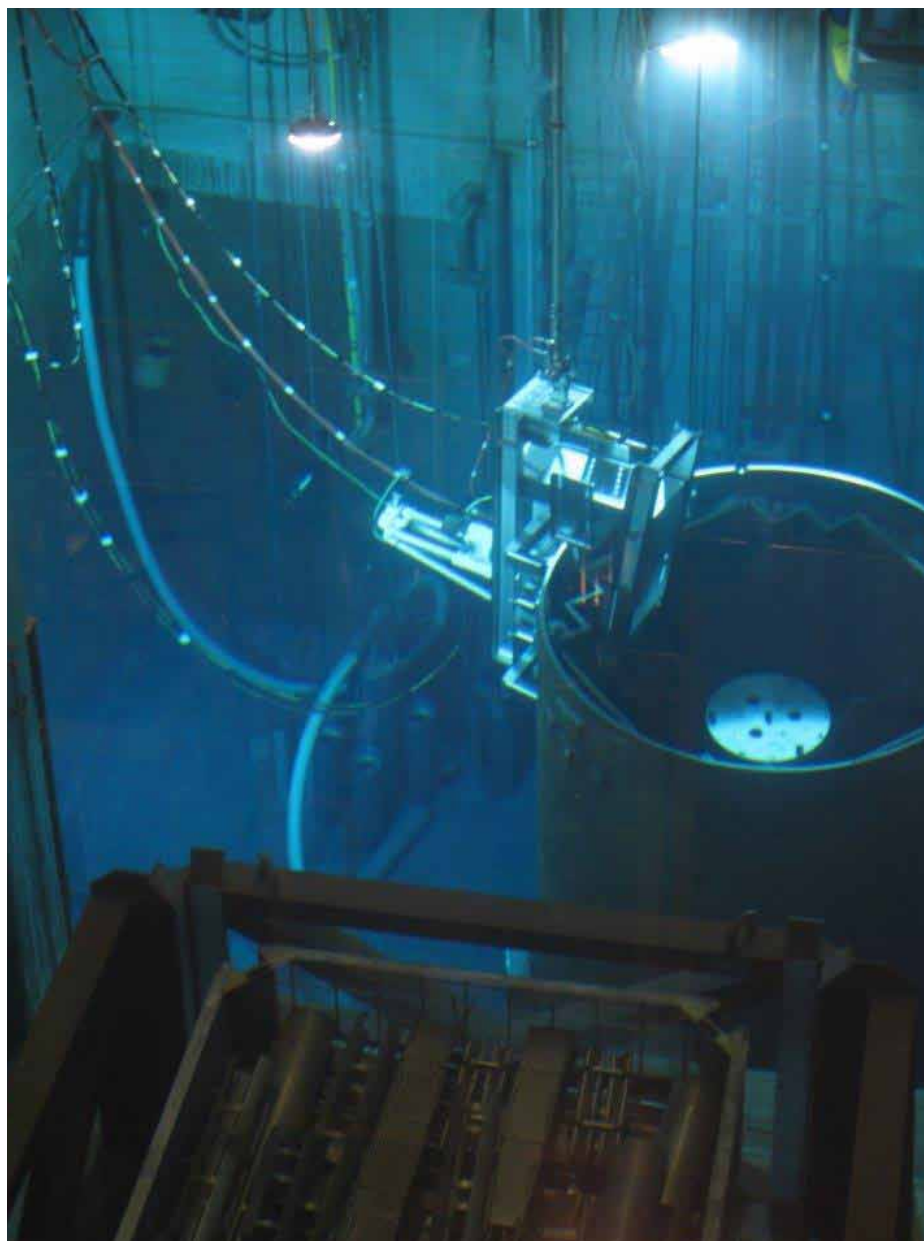
退役的一个优先事项是最大限度地减少工作人员的辐射照射。为此，Enresa公司探索了保护工作人员的方式，发现如果他们按大块而不是小块拆除电厂大型部件，然后放在大容器里转移，可以缩短工作人员操作材料的时间，从而减少照射量。

“将废物分割并装入大容器是个挑战，因为我们需要新的工具。” Santiago Albarrán说。“但是值得的。我们降低了成本和工作人员的辐射剂量。”

同样，在水下分割反应堆压力容器及其部件提供了另一种保护途径。水对不同类型的辐射起着有效的天然屏障的作用。用水作为缓冲区，专业人员可以站在乏燃料池顶部旁边，用远程操作机械工具切割反应堆水下的所有堆内部件。“切割产生的金属碎片留在水中，水起着屏蔽作用。”他解释说。“水下切割大型污染部件使整个过程对工作人员和环境变得更加安全。”

收尾工作

他们拆除所有部件之后，Enresa公司将



拆毁建筑物，对场址去污，并确保所有废物已被清除。然后，退役的最后一步就是场址恢复。“我们恢复了场址后，在将场址交回业主之前，监管机构要进行查验，确认没有显著的污染遗留，业主方可将场址再作他用。” Santiago Albarrán说。

一旦监管机构证实场址不再给公众或环境安全带来风险，并且核许可证可因此撤销，则场址完成了退役过程。“这是一个给子孙后代留下干净整洁场址的问题。”国际原子能机构退役专家 Patrick O’Sullivan说。“一个让它回归社会重新利用的问题”。

何塞·卡夫雷拉核电站反应堆压力容器的水下切割。

(图/Enresa公司)

幕后： 与退役工作者有关的常见问题

作 为一名退役工作者上岗工作时没有两天是相同的。核设施有各种形状和大小，每个设施有其独特的设计，退役工作者们必须制定非常详细而又恰如其分的计划，而且为了安全地将一个设施一块块地拆除，往往要推出新的创造性的方案。

为了解退役管理人员工作中涉及的内容，国际原子能机构特约编辑Nicole Jawerth与英国塞拉菲尔德场址“场址整治和退役项目计划”负责人Steven Slater进行了交流。在塞拉菲尔德，坐落着几座正在运行和已关闭的核电设施和后处理设施、核废物贮存设施以及核研究和开发实验室。他负责整个塞拉菲尔德场址上150多座核设施的安全管理和退役，以及500多名员工的安全管理。

退役工作者的工作与运营者的工作有什么不同？

我负责设施的安全维护，直到我们开始退役活动，从这时起我负责退役项目的安全管理和放射性物质的清除。我工作的主要目标是在运行后清理阶段安全地清除残留的放射性物质，并使其余的物质安全适合于长期处置。

我承担的一些退役工作对运营者来说是完全陌生的。我的角色是清点和回收放射性物质，并把它们变成一种安全、固定的形式。对于运营者，这似乎是非常陌生的。运营者的主要工作是在核运行的全过程和寿命期间保持放射性物质时时处于密封状态。

退役和运行之间的主要区别是，退役是基于项目的，有规定的起点和终点。运行是面向过程的，从一个过程转向另一个过程。

你的工作中最大或最重要的挑战是什么？

由于设施年龄的关系，它们往往不像根据图纸所预期的那样，年龄相关的缺陷遗留的问题通常构成挑战。我们很希望设施与图纸上一模一样，但其中的一些设施几乎都已50年了。在这50年的使用中它们已



“我承担的一些退役工作对运营者来说是完全陌生的。”

—英国塞拉菲尔德有限公司“场址整治和退役项目计划”负责人Steven Slater

被多次修改。我们的工厂并不是依据图纸和记录所预期的那样。所以，每次我们进入这样一些设施，都是一次探索之旅。

这些年来退役过程是如何变化的？

我们已经从完全远程操作退役转向更多的人—机界面退役。有一段时间，我们热衷于采取完全远程操作退役，但完全远程操作增加了规模、复杂性和费用，往往使人望而却步。在有些情况下，我们还是采用完全远程操作退役，但在有机会的情况下，我们现采用所谓的“半远程操作退役”，工作人员进入操作区域，安装好工具，然后通过远程操作台操作。这意味着人员不在危险区，但他们在场，可以观察操作，并随着事情的进展做些修改。这是过去十年来我们的一个真正变化。

我们做的另一件事是从区域范围的退役转向更具战术性的退役。其中一些厂房和区域像足球场那么大。过去，我们要切实地进入设施，开展大规模退役工作，但这样做，我们面临着污染在整个暴露区域的扩散。现在，我们选择更具战术性的退役，我们一次解决一个区域，在这个区域周围设置一个封隔结构，然后转到下一区域。这可以防止污染扩散到整个结构。这真是一种更加外科手术式的退役方法。

你们做了哪些创新？它如何适应这个领域的未来？

我们始终在创新。最近，我们一直在开发一种叫做“激光蛇”的东西。激光蛇是一种由钢丝绳驱动的灵活机器人手臂，能够通过密闭的空间和杂乱的环境容易地导航。这套工具的真正好处是它使“手臂”能够执行从检查到清洗再到激光切割等各种活动。所以激光蛇一旦通过现有小室贯穿孔到达工作位置，激光切割技术就能比较容易地破碎难以触及且往往有放射性的零部件。这样免得操纵人员直接接触，从而



最大限度地减少人员照射量。

我们还与REACT工程公司合作，该公司是我们供应链中的一个伙伴公司，我们一直在与他们一起开发远程表征方法。例如，我们采用一种扫描装置，把它连接到无人机上，放飞到放射性厂房。这样，我们就能够拍摄厂房内部的三维图像。然后，我们先把放射性地图叠加起来，这样在我们安排人开始工作之前，就可以清晰地看到厂房里面的情况。这是我们如何减少工作人员辐射照射的一部分。

无人机被越来越多地用于表征目的。未来，随着我们着手一些难度更大的工厂的退役工作，要进入那些人员根本不能暴露的区域，远程操作退役技术和无人机将发挥更大的作用。我希望像这样的技术和其他新的创新将继续发展，帮助我们找到新的方法来承担退役工作和应对新挑战。

国际原子能机构在哪些方面适应你们的工作和退役？

就其放射性物质储量来说，塞拉菲尔德是西欧最危险的场址之一。我们与全核能界许多专家同行合作，交流经验和技能，以加强我们的退役工作。国际原子能机构仍是在该领域向我们及其他人提供支持和协作的一个来源。

在有些情况下，退役工作者手动工作能够比其他方式更快和更有效。

(图/英国塞拉菲尔德有限公司)

清理有毒遗产：中亚原产铀场址的环境整治

文/Andrew Green

近 60个废弃的产铀场址散布在哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和乌兹别克斯坦的农村风景中，对环境和居民构成危害。每个场址给缺乏整治技术专门知识和资源的地方和国家政府造成挑战。

吉尔吉斯斯坦面临的挑战

据吉尔吉斯斯坦共和国紧急情况部的报道，吉尔吉斯斯坦有35个尾矿堆放场和25个废石堆场。这些堆放物中许多含有有毒残留物。地震不稳定的可能性，如山体滑坡使这些残留物弥散，对周边环境构成最大的威胁，该部副部长Asel Seitkazieva说。

有鉴于此，政府考虑将迈卢苏（Mailuu-Suu）铀生产遗留场址（地图上标记①）和民都库什（Min-Kush）铀生产遗留场址（地图上标记②）作为第一批优先整治场址。

在位于全国中心的民都库什场址，吉尔吉斯斯坦当局接受了国际原子能机构“铀遗留场址协调小组”在环境整治规划和项目实施方面提供的援助。通过国际原子能机构技术合作项目，该国卫生部、国家科学院和国家环境保护与林业局的专家学会了如何使用 γ 和 α 谱法来评估和监测辐射水平。

虽然已开始制定整治计划，但由于缺乏资金，整个民都库什场址仍处于恶劣状况，整治活动尚待实施。然而，通过开始将尾矿转移到较安全的场址，并努力恢复原来的贮存场址，已经为未来的整治打下了基础。一旦资金到位，便进行废物实际转移和场址复垦，Seitkazieva说。



● 吉尔吉斯斯坦原产铀场址。

- ① 迈卢苏
- ② 民都库什

(资料来源：吉尔吉斯斯坦紧急情况部)

在20世纪90年代之前，这些场址被用于生产铀。它们建成于为确保最终退役而需要的监管基础结构适当到位之前，所以长寿命放射性污染残留物和剧毒化学污染残留物仍然对公众和环境健康构成相当大的风险。

据一些估计，中亚铀生产残留物（如废石和尾矿）数量接近10亿吨，国际原子能机构核安全和安保司退役和整治股股长John Rowat说。许多这些材料以不安全的方式在分散于这个地区的场址上贮存着。由于缺乏资金，过去十年的工作主要集中于短期措施，以保护公众和环境，Rowat说。



迈卢苏场址的进展和教训

滑坡、洪水和可能的封隔屏障损坏也是迈卢苏场址关注的一个问题，该场址存有大量残留放射性污染物。好在正在取得进展。在国际原子能机构的协助下，应吉尔吉斯斯坦政府请求，独联体国家和欧洲委员会向铀遗留场址整治提供了国际援助。

共有36个废物堆和尾矿场部分得到整治和垦殖，对靠近尾矿场的几个滑坡易发点进行了修整和重新设计，以减少地震影响的可能性。其中许多项目尚未完成，需要整治的许多矿区由于缺乏资金而处于恶劣状况。至于民都库什场址，则要建立定期监测和监督计划，并且需要制定较好的公众沟通和制度性控制措施，Rowat说。

邻国能够从吉尔吉斯斯坦的经验中学到什么

吉尔吉斯斯坦争取国际支持整治工作方面的经验可以有助于邻国开展类似的项目，Seitkazieva说。

例如，像吉尔吉斯斯坦所做的那样，塔吉克斯坦和乌兹别克斯坦参与了国际原子能机构技术合作计划，以购置实验室设备、安排工作人员培训以及协助场址表征活动。Seitkazieva说，吉尔吉斯斯坦与原子能机构合作的正面经验可以作为未来国际整治工作的有效路线图，尤其是在现有的国家监管框架内寻求实施计划的方式时。

在谈到整治时，中亚成员国往往有着共同的挑战。例如，费尔干纳流域是跨越吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和乌兹别克斯坦的分水岭，它是这三个国家的重要农业区。但是，以前的铀生产场址严重影响了这个流域，有毒物质使之有被污染的危险。

“费尔干纳流域展示了采取地区方案整治中亚铀遗留场址以补充国家专项计划的重要性。” Rowat说。“吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和乌兹别克斯坦都依靠这个流域的水资源。”

民都库什铀生产遗留场址位于一个容易发生山体滑坡的地区。

(图/国际原子能机构)

“一旦资金到位，便进行废物实际转移和场址复垦。”

—吉尔吉斯共和国紧急情况部副部长 Asel Seitkazieva

从铀矿山到钓鱼湖：法国利穆赞地区的环境整治

文/Aabha Dixit



法国利穆赞地区环境整治前后对比。

(图/法国阿海珐集团)

人工湖、钓鱼点和太阳能发电场点缀着法国利穆赞地区的风景，这里的铀作业活动已逐渐结束。参与这一地区整治活动的法国多元化专家组协调员Yves Marignac说，没有利益相关者的参与、透明的过程和协调良好的活动，这种转变是不可能实现的。当地民众在这一环境整治计划实施过程中发挥了重要的协商作用，他们现在将这座从前的采矿场用于休闲娱乐。

“在我们必须解决利穆赞地区铀矿开采场址的关闭问题时，对整治管理采取协商方案是获得人们支持的关键。” Marignac说。他补充说，特别是，非政府组织在扩大环境整治范围方面起到了推动的作用。

任何成功整治项目的一个重要因素是公众参与决策过程中。当地社区对成功的环境整治最感兴趣，他们需要就整治的原因、时间和对他们的影响等问题得到满意的答复。“他们的参与对确保技术上合理、社会上可接受的决定至关重要，也是必不可少的。” Marignac说。

公众参与

Marignac解释说，最初，负责整治工作的组织阿海珐集团并未广泛宣传其计划。但鉴于非政府组织和专家对放射性残留物的独立评估，负责整治活动的各方迅速扩大了整治工作范围，以考虑公众的关切。他说，这是通过让公众更广泛地参

与决策过程实现的。

法国当局果断而迅速地行动起来，成立了法国多元化专家组，吸收利益攸关团体的委员会专家进行对话，自由地讨论和解决已关闭矿山的整治问题。这种互动式对话也为讨论整治活动的优先次序和提高认识提供了一个平台。

多元化专家组由具有不同背景的30多位专家组成，包括独立专家和来自法国国内外机构、协会和行业团体的专家。

他们参与了处理整治实施计划的具体技术和运行方面。

与多元化专家组分享的环境整治计划涉及确保所关闭矿山周围地区的安全、建立特殊处置场、去除和覆盖受污染的岩

石，以及采取特殊措施来消除放射性元素渗入水系的风险。“来自废石堆的受污染排水是一个重要关注问题。必须把这些水收集起来，经过处理后进行排放，供公众消费。” Marignac说。在一些区域，对水的监测和管理仍在继续。

法国辐射防护与核安全研究院和国家工业环境与危害研究院对该整治工作提供了指导和支持。来自国际原子能机构、比利时、以色列、卢森堡、瑞士和英国的专家也为这项工作提供了咨询建议。

今天，在这座曾经的铀采矿场址很难发现过去活动的痕迹，它们已经和周围的景观完美地融为一体。

“对整治管理采取协商方案是获得人们支持的关键。”

—法国多元化专家组协调员 Yves Marignac

整治活动

利穆赞铀矿山一关闭，就制订了管理战略，包括与2006年法国关于放射性废物和材料可持续管理法律相一致的成套方法。

法国产业、研究和环境地区管理局和核安全局被授予监督和实施整治过程的任务。Marignac说，主要目的是确保整治过程透明，保证公众安全，封闭可能来自关闭矿山的任何泄漏和其他污染。

当局还对铀矿山状况进行了评价，包括完成的开采工作，废石堆、采选厂尾矿池、水收集处理系统的现状，对污染沉积物处置场的确定和废石的可能重新利用。

还审查了对当地生态系统的影响情况、工作人员的辐射剂量评估、环境放射性释放的监测和纠正行动建议。

在2006年至2008年间，实施了一系列优先行动，例如将放射性废物和非放射性废物安全转移到处置场，安全运输放射性废物材料，确保对公众和环境保护采取严格的法律措施。

Marignac说，公众也有权接触政府有关该地区矿山的清单和需处置的放射性废物详情。

在场址整治过程中，法国利穆赞当局试图使曾经的采矿活动的残留影响最小化，将采矿场整治为风景区。为使这些地区安全地供公众使用，他们还进行了严格的放射学和环境监测，实施了广泛的水处理。

国际原子能机构工作组审查 福岛第一核电站的退役活动

2011年3月11日，强烈地震和海啸造成日本福岛第一核电站发生重大事故——自1986年切尔诺贝利事故以来全球最严重的核事故。燃料卸出和事故后稳定与清理活动正在该核电站进行，旨在适时能够对堆芯进行拆除。

在事故后的5年里，应日本政府的请求，国际原子能机构派出了10多次专家工作组访问，对该国提供不同领域的咨询，包括三次对退役和环境整治的安全和工艺技术方面的咨询。

退役同行评审工作组访问的目的是对与该核电站退役规划及其实施有关的活动提供独立评估。

于2015年2月实施的最近一次工作组访问有15位国际专家参加，他们根据国际原

子能机构安全标准和其他相关良好实践对退役提供了独立审查。这些同行评审报告载于国际原子能机构网站www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima。

2015年8月，国际原子能机构发布了《福岛第一核电站事故——总干事的报告》连同由国际专家编写的五个技术卷，对事故的原因和后果进行了评估。该出版物汇总了事故的教训，为采用或拟采用核动力的各个国家提供了有价值的资源。其中一卷介绍事故后恢复工作，包括退役和环境整治。

下列图片记录了2015年2月最后开展的一次国际原子能机构退役工作组访问情况。



福岛第一核电站反应堆厂房前面的污染水贮罐。



国际原子能机构退役工作组在听取关于净化系统功能的介绍。该系统可以去除受污染水中的几乎所有放射性元素。



国际原子能机构工作组一名专家在穿戴装备，以进行现场巡视。

国际原子能机构退役评审工作组成员步行经过4号机组构筑物。



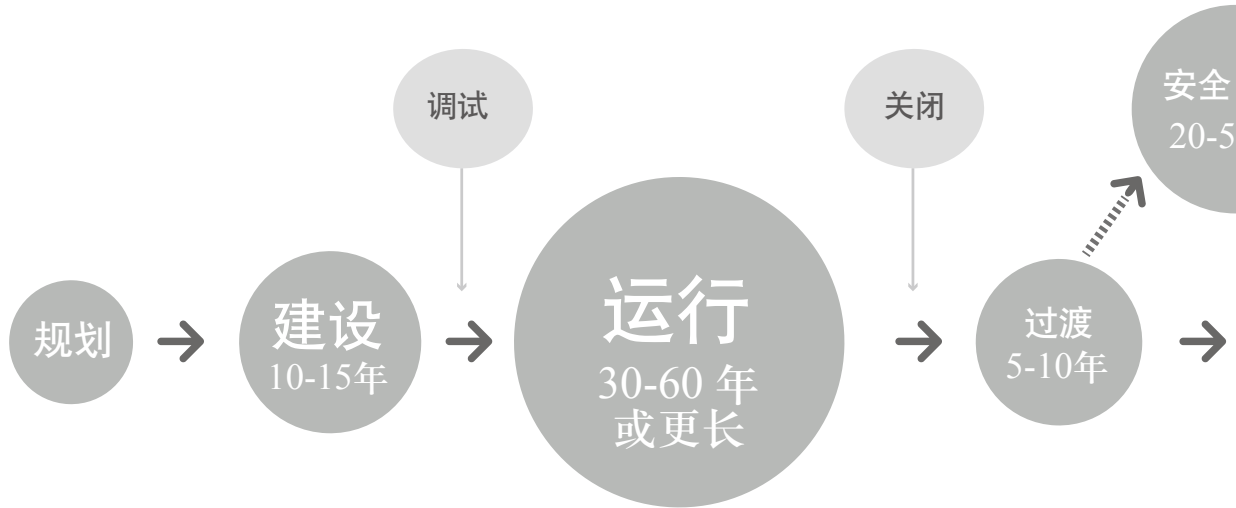
国际原子能机构工作组一名专家在凝视排空的乏燃料水池。

国际原子能机构工作组在查看净化系统。该系统可以去除受污染水中的几乎所有放射性元素。



(图/国际原子能机构S. Lööf)

从规划到退役：



规划



1

退役成功的关键是精心规划和考虑项目的各个方面，包括资金和许可证审批。

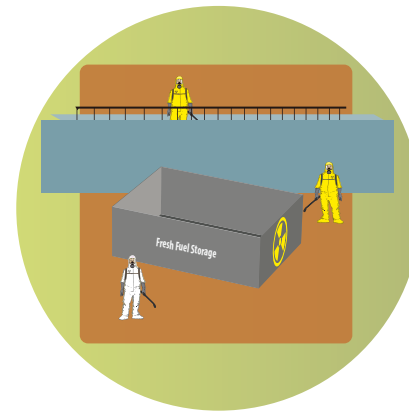
物理和放射学表征



2

专家需要对将要接触的设施的特性和辐射水平有一个清晰概念。

退役



3

工作人员对材料去污，大幅减少放射性废物的量。

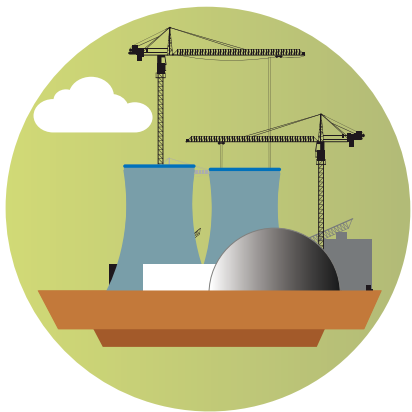
一座核电厂的寿期

包封
0年

退役
10-20年

当设施不再服务于有用的社会或经济目的时，需要将其拆除，并使场址可另作他用。下面六个阶段突出介绍了退役过程的步骤。

拆除和拆毁



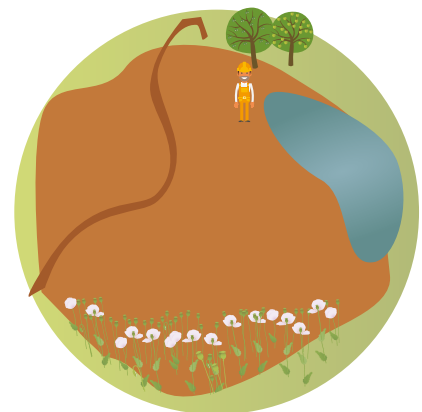
4

重新利用准备



5

最终调查和解除监管控制



6

所有的建筑物、墙体和部件都要分解成块，条理化处理和回收利用。对放射性废物进行分开处理，送去贮存或处置。

工作人员整治场址，以备最终重新利用

场址得到恢复后，监管机构核实并确认无重大污染，就可重新利用。

不可掉以轻心：研究堆退役

文/Miklos Gaspar



2015年9月24日，辐照后的液态高浓铀燃料被从位于乌兹别克斯坦塔什干的辐射与技术综合体的研究堆中移出，并被运回俄罗斯。

（图/国际原子能机构 S. Tozser）

“我们一旦关闭这座反应堆，就想尽快将其退役。”

—印度尼西亚国家核能机构研究员 Ketut Kamajaya

为 得到建设研究堆的许可，准运营者需要提交其新建设施最终关闭后的初始退役计划。然而，这在上世纪五十年代、六十年代和七十年代并不是一项要求，现正接近其寿期的大多数研究堆是这些时期建设的。结果是：许多未使用过的反应堆闲置在大学校园、研究园和医院中，因为这些反应堆的运营者没有对它们的退役作适当的规划。

“我们的研究堆最近收到了继续至少再运行几年的许可证，但是我们需要就此之后对它的处理做出决策。”负责印度尼西亚万隆 Triga-2000 研究堆退役工作的研究员 Ketut Kamajaya 说道。

180座研究堆等待退役

据国际原子能机构《2016年核技术评论》报道，截至2015年底，世界上有246座研究堆在55个国家运行，180多座已经关闭

或正在进行退役。超过300座研究堆和临界装置已完全退役。在运研究堆约一半运行超过40年，使老化管理和退役成为当今研究堆领域的关键挑战。

许多国家并没有退役所需的制度、法律和监管架构、专业技能和技术基础设施。国际原子能机构废物安全专家 Vladan Ljubenov 说道。“没有核电计划的国家通常明显缺乏退役专业技能，往往缺乏管理低放废物以外的废物的设施。”他说道。虽然研究堆产生的许多退役废物的确是低放废物，但这些国家也需要处理所产生的少量中放和高放废物。

有时，一些国家还缺乏退役的资金，尽管从长远来看，他们会通过即时退役其不再使用的核设施来节省资金。国际原子能机构退役和环境整治工作组组长 Vladimir Michal 说道。除非研究堆已经从监管机构获得退役许可，否则有关在运反

应堆的安全和安保规定就适用，即使反应堆不在使用中，甚至不再装有任何燃料。

“随着时间的推移，满足监管要求比硬着头皮做事和退役花费更大。” Michal说道。

“处于退役管理制度下要比前途未卜更好、更安全。”

加快退役

这是印度尼西亚正在采取的方案，Kamajaya说道。该国已有将医用同位素生产从万隆转移到其他两座研究堆设施的计划。对科学家进行反应堆物理和热工水力学的培训也将转移到其他场所进行。“我们一旦关闭这座反应堆，就想尽快将其退役。”他说。为做好退役准备，来自运营者的专家参加了国际原子能机构的若干技术合作项目，并有机会见证了在澳大利亚和比利时正在进行的退役工作。

在乌兹别克斯坦，政府在2016年7月决定永久关闭其位于塔什干核物理研究所的研究堆，并尽快开始对其进行退役。核物理研究所所长Umar Salikhbaev说道。他说：“我们正在同国际原子能机构就制订初步退役计划开展密切合作，我们打算在5月之前将该计划提交政府。”在此之前，去年已开始塔什干的FOTON研究堆的退役工作，计划在2017年年中完成。该研究堆的燃料于去年9月作为原子能机构协调的一项计划的一部分运回俄罗斯（见第16页图）。

老堆与新堆

一些运营者希望建设技术上比上一代更先进的新研究堆。他们如果能证明其已经妥善对以前的反应堆进行了退役，则会轻松地获得监管许可证，并赢得公众对新研究堆的信任。Ljubenov说道。从前设施的场址也可以用作新反应堆的天然场所。他补充道。

从某些方面讲，相比于动力堆，研究堆的退役更复杂，尽管它们的尺寸比较小。Ljubenov解释道。研究堆往往位于大学校园



中或研究机构内，周围有许多在用的其他设施和建筑物。研究堆可能与实验室或其他研究设施有一些联系和共享系统，如公用废物贮存罐。“反应堆的边界在哪，哪些要退役，哪些要保留？这并非总是一目了然。” Ljubenov说道。

适当的监管

国际原子能机构的支持也延伸到监管机构，以便他们能够建立其本国关于退役的法律架构。“我们就只有三座研究堆，没有动力堆，规模小得没法制订自己的导则。”印度尼西亚核能监管局高级监管人员Reno Alamsyah说道。国际原子能机构在起草立法和导则方面对印度尼西亚核能监管局工作人员进行了培训，还将帮助他们审查提交的退役计划。

经过初步培训，印度尼西亚和乌兹别克斯坦的工作人员说，他们现在更有条件应对任何将要开展的退役工作，无论是国内的还是国外的。“印度尼西亚还有两座反应堆。而尽管现在它们正保持强劲势头，但退役这些反应堆的时候同样会到来。” Kamajaya 说道。

在乌兹别克斯坦，核物理研究所的专家最近已开始制订该国第二座研究堆的退役计划。“我们可以再次利用上一次退役工作所获得的许多材料和知识。” Salikhbaev说道。

负责乌兹别克斯坦核物理研究所运行的研究堆的工程师在就制订退役计划咨询国际和国际原子能机构的专家。

（图/国际原子能机构 D.Calma）

“没有核电计划的国家通常明显缺乏退役专业技能，往往缺乏管理低放废物以外的废物的设施。”

—国际原子能机构废物安全专家Vladan LjubenovKamajaya

促进了解，提高安全：国际原子能机构为退役和环境整治提供服务

核设施一旦达到其使用寿命，让其安全、妥善地进入“休息”状态并使其场址可供未来再次使用，需要精心的规划和实施。国际原子能机构从法律、监管和技术咨询，到能力建设和培训，再到信息交换网络维护，向成员国提供与退役和环境整治有关的广泛服务。这些服务也为《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》缔约国提供支助。该公约要求缔约方就其整治和退役安全提出报告。

本文概括介绍这些服务。

该服务可为监管机构、政府机构和国家政策制订者所使用，涵盖现有或规划的国家或机构政策和法规框架及有关的废物管理计划、项目或设施。评审还会涉及详细评估和对具体退役或环境整治计划实施的技术咨询。

讲习班和培训

退役和环境整治计划的规划和实施取决于执行机构和监管机构是否拥有足够数量的适当合格和有经验的专业人员。

国际原子能机构通过技术合作计划举办培训班、讲习班和开展专家工作组访问及提供进修来协助发展技术知识和专业技能。专家在线教学课程为面对面培训提供补充。

国际退役网 (IDN)

国际退役网是一个供专家加强有关退役活动合作和知识共享的论坛。该网络关注各种核设施的退役，包括核电厂、燃料循环设施、研究堆、以前的研究场址以及在其中将放射性核素用于工业、医疗或研究目的的其他设施。

该网络组织开展一些协作活动，包括参与者的年度论坛。

环境管理和整治网 (ENVIRONET)

环境管理和整治网促进和便利经验欠缺国家与经验丰富国家和组织间的合作，以共享环境整治项目实施过程中的知识。

该网络围绕某个地区或专题重点提供



澳大利亚的整治场址。
(图/国际原子能机构)

ARTEMIS评审服务

国际原子能机构制订了放射性废物和乏燃料管理、退役和环境整治 (ARTEMIS) 的综合评审服务。这项服务始于2014年，旨在面向核设施运营者和负责放射性废物管理、核设施退役和受放射性材料污染场址整治的其他执行组织。

范围广泛和形式多样的培训和示范活动，提供实际动手操作和面向用户的经验，传播成熟的技术。

旨在加强交流和培训的网中网互联互通 (CONNECT)

国际原子能机构“旨在加强交流和培训的网中网互联互通”是供原子能机构专业网络成员和“实践社区”使用的一个网基平台，旨在促进一些网络内的网络参与者之间的协作和信息共享。

有11个网络参与“旨在加强交流和培训的网中网互联互通”，包括国际退役网、环境管理和整治网以及从事废物处置、乏燃料管理和核知识管理等网络。

放射学影响评估模拟和数据计划 (MOARDIA)

“放射学影响评估模拟和数据”计划旨在通过使用改进数据、模型测试和比对应来提高环境辐射剂量评估的能力，形成对模拟方法和参数值的共识，开发改进方法和交换信息。

放射学评估结果被用于诸如评价放射性核素常规释放和意外释放的放射学相关性，支持整治工作的决策和实施放射性废物处置评估。

该计划有10个专注于一系列相互关联问题的工作组，例如放射性核素向环境的常规排放、受污染乡村和城市环境中的放射

性核素迁移、放射性核素在海洋系统的弥散和核事故期间或因过去缺乏监管的活动受到污染土地的整治。

其他协作性努力

2012年，国际原子能机构成立了铀遗留场址协调组，就主要位于中亚地区的铀遗留场址整治的国家和多边活动提供技术协调。

另一项服务，“遗留场址监管性监督国际工作论坛”于2010年建立，旨在促进按照原子能机构安全标准和国际良好实践对遗留场址进行有效和高效的监管性监督。该论坛通过以具体场址为重点的国际讲习班为参与者提供获得实践经验的机会。该服务建设整治的技术能力、提升监管能力，并帮助制订有效的国家战略，以促进国家决策过程。

通过2015年1月启动的“受损核设施退役和整治管理国际项目”，专家能够从严重事故所致受损核设施的退役和整治经验中学会很多东西，并从中受益。该项目涉及退役和整治的监管、技术和规划方面。

“受损核设施退役和整治管理国际项目”是原子能机构在2011年福岛第一核电站事故后采取的原子能机构“核安全行动计划”下实施的主动行动之一。

新技术在退役和整治中的应用

文/Vincent Fournier



无人机可搭载传感器和摄像机，远程收集数据，为环境整治作准备。

(图/国际原子能机构 R. Duran)

新技术和新兴技术正使得退役和整治成本效益更好、更快和更安全。从规划到实施和控制，新技术的应用日益增多。

用激光和无人机优化规划

在开始退役或环境整治之前，专家需要对过程的每个步骤进行规划，并且为此，他们首先需要对其会遇到的结构特征和辐射水平有一个明确的想法。

虽然为规划目的进行的表征可以利用绘制蓝图、测量和照相等人工方法完成，但激光扫描技术现在可以使退役团队更快、更精确地测绘设施的结构、系统和部件的物理特征，同时辅用以遥控 γ 摄像机等高科技装置进行的高度敏感测量。遥控 γ 摄像机能精确和高效地测量设施的放射学特征，包括辐射的量和类型。一旦去除了污染，即需要类似的测量，以核实残留的辐射水平是否可忽略不计。

对于环境整治专家来说，了解场址环境及其中的污染物如何随着时间的推移而变

化这一细微层面越来越重要。诸如搭载有环境传感器的无人机等新工具使得专家能够远程评价场址表面，并且结合收集的地面数据，能够有助于确定土壤中的污染物性质、浓度和分布。这可以提供对场址物理特征和放射学特性以及基本环境行为和动态的高分辨率表征。

在两种情况下，一旦收集了数据，利用最先进的三维模拟软件就可非常详细地再现设施或场址及其辐射水平的叠加图。模拟软件还可用于环境整治中模拟环境中的污染物特性，这是选择和实施安全、可持续和成本效益好的场址环境整治及长期监测和管理方案的一个关键步骤。

人和机器人

核设施有很多死角是难以到达的，有些区域具有很高的放射性，工作人员进入十分危险。机器人为进入这些区域作业开辟了新的途径。

“遥控工具可用于测量放射性、对核电厂去污及最终分割和处理电厂部件，避免人将面临的危险。”

—国际原子能机构退役和环境整治工作组组长 Vladimir Michal

“核设施的一些局部区域工作人员完全无法企及，要么空间过于窄小，要么放射性太高而危险。这就是机器人能够发挥作用之处。”国际原子能机构退役和环境整治工作组组长Vladimir Michal说道。“遥控工具可用于测量放射性、对核电厂去污及最终分割和处理电厂部件，避免人将面临的危险。”

随着技术进步，机器人已变得更加小巧而精密，能够在各种地形和极端环境下工作。例如，多功能机械臂可由工作人员远程操作，在装备激光切割工具后，除其他外，尤其可以对难以企及的管道和反应堆部件进行拆解。

遥控切割工具还可用于水下作业，利用水作为辐射防护的天然屏障，工作人员可以抵近作业。这些机器人在水下对放射性部件进行分解，能够有助于保护工作人员，防止气溶胶颗粒排放。

创新性

创新并不总是指创造复杂的新玩意儿。“工程与自然”是环境整治中的新兴概念。一些情况下，最佳整治方案不一定是涉及昂贵的工具和化学操作的方案。

“顺其自然有时可能是最佳作法，但是，这要求对相关环境过程有非常透彻的了解和预测。就在最近，用于特征描述和监测的计算工具和手段已变得足以有力提升对使用这一方法的信心。”国际原子能机构环境整治专家Horst Monken-Fernandes说道。

纳米级整治（或称纳米整治）是一种使用称为纳米粒子的微小人造结构来迅速而高效地降低土壤和地下水中污染物浓度的新技术。这种大约不到一根头发丝横截面十万分之一的粒子具有极其优良的贮存、运输、穿透和分布能力。可将它们注入污



染源的表面使污染物降解或稳定化。纳米粒子还可通过具有分子筛特性的纳米结构俘获污染物。这一技术比通过诸如挖掘来实现清洁环境整治目标的传统技术具有更好的成本效益潜能。

全新的世界

创新开启了通向新的选择可能之门，但也提出了新的培训要求。一个解决方案就是对真实加以虚拟化。三维世界为实施人员提供了一个获得退役和环境整治过程每个步骤的直接经验的机会。除其他外，这尤其可以包括应遵守的切割顺序规定、工作人员可能面临的辐射照射水平、部件拆除的最高效方案和分解后的废物块的包装及潜在的安全风险。

虽然新技术和创新的潜在好处巨大，但往往要经过几年才能扩大到广泛的应用，尤其在预算和资源有限的国家。原子能机构的支持帮助各国获得其所需的信息、经验和培训。

“原子能机构的愿景是协助成员国发展和保持能力，以适时、安全和经济有效地管理退役和环境整治项目。” Michal说道。

装有激光切割器的蛇形机器人可使退役工作组进入封闭而危险的区域。
(图/英国塞拉菲尔德有限公司)

核设施的退役：德国的经验

文/Boris Brendebach



Boris Brendebach是德国装置和反应堆安全公司的研究助理和首席退役专家。该公司在退役和环境整治活动方面为德国政府提供支持。

自 20世纪70年代以来，德国在核设施的退役上取得了丰富的经验。目前，包括动力堆和原型堆在内，有16台核电机组处于不同的退役阶段。有三个退役项目已经完成（见地图）。

2011年3月日本福岛第一核电站事故后，德国政府决定通过逐步淘汰的方式结束其核能商用发电。这一决定导致了2011年7月31日对德国《原子能法》的修订和2011年8月6日撤消对通过核燃料裂变进行商用发电的七台最老核电机组和克洛梅尔核电厂的运行授权，以及对其余九台核电机组设定在2022年前分阶段结束运行的授权。

自此，2011年关闭的所有八座核电厂均申请了退役许可证。此外，格拉芬莱因费尔德核电厂也于2015年6月27日关闭，比其原预定日期提前了半年。该电厂还提前提交了退役申请。贡德雷明根B核电厂同样提前提交了退役申请，目前仍在运行中，计划在2017年底关闭。

下页地图概述了德国正在退役的核电厂，以及已经拆除、永久关闭但等待颁发退役许可证的核电厂，或尽管在运行，但已设定关闭日期的核电厂。除了动力堆和原型堆外，还有30多座不同大小的研究堆和10多座核燃料循环设施已经关闭并且退役或即将退役。

多种形态和形式

可能有许多退役项目在同时推进，但每个项目独具特色。项目的路线、融资、退

役策略的选择和其他许多条件取决于其设施类型和业主：

- 动力堆和铀浓缩与燃料制造厂属于电力公司和该领域营运公司。
- 研究堆、发电原型堆和核燃料循环原型设施则建在研究中心或大学，是政府资助的。
- 前东德格赖夫斯瓦尔德和莱因斯堡核电厂的退役，像前东德铀矿开采和处理设施的退役和整治一样，通过联邦预算提供资金。

核设施退役的法律框架源于德国《原子能法》。该法律规定，退役须得到主管当局的许可。根据德国《原子能法》，采取的退役策略有两种：立即拆除或长期安全关闭后拆除。采用何种退役策略由营运者决定。大多数营运者已经选择立即拆除。

申请退役许可证时，应向核设施所在州的主管当局提交规定的文件和资料。除其他事情外，提交的文件和资料尤其应介绍适用的规程、计划的拆除措施及将采用的相关技术、环境影响和辐射防护规定。进一步的细节由《核许可证审批程序条例》规定，并包含在《退役导则》中。

对退役许可证中所允许的工作的要求遵守情况，由核设施所在州主管当局进行监管。主管当局检查对工作规定的条件和提出的许可证审批条件是否得到遵守。当局还要委托独立专家协助进行额外的检查。另外，将对许可证中规定的技术和方

德国动力堆现状



资料来源：德国装置和反应堆安全公司

法作出全面规定，在监督程序中制订详细计划。

德国今后的任务是完成目前的退役项目，仍在运行的核设施一旦达到运行寿期

就进行退役。逐步淘汰核能所要求的大型设施的大量同时退役，可能在各个层面（营运者、监管机构、技术支持机构和供应商）对能力的建立和保持提出挑战。

核设施退役和环境整治的目前趋势

文/Juan José Zaballa Gómez



Juan José Zaballa Gómez 是核退役行业的经济学家和资深人士。他是西班牙国家放射性废物公司 (Enresa) 总经理，将担任2016年5月23日至27日在马德里举行的国际原子能机构“推进退役和环境整治计划的全球实施国际会议”主席。

民 用核设施的退役和环境整治对世界各地从事这一活动的国家是一个显著挑战。它包含与管理、技术、安全和环境有关的方面和问题。

在过去几十年里，全球运营者在核场址的退役和环境整治中取得了重要的经验。大量的核设施已停止运行，并且预计在今后几年，这一数字还将大幅增加。在150多座已关闭或正在进行退役的动力堆中，17座动力堆已经退役，同时还有180多座研究堆已经关闭或正在退役中，300多座研究堆已经完全退役。总共有170多座核燃料循环设施已关闭或正在退役中，另有125座核燃料循环设施已经完全退役。西班牙是在该领域富有经验且正在开展活动的国家之一。

已证明，退役活动能够在不对健康、安全或环境产生额外风险的情况下完成，退役是一种成熟的工业活动。

但是，使这一活动成为可能的基本要素有哪些呢？根据我们的经验，完整的周期涉及三个关键要素的有效可用性：保证安全的法律和监管框架、有关资金和资源可用性的规定，以及该领域技术和经验的利用，包括存在对所产生材料特别是乏燃料和放射性废物的物流和管理方案。

建立一个明确规定包括主管当局在内的不同利益攸关者的责任的适当法律框架是必不可少的。从运行转为拆除和退役，要求修改监管框架，以确保与这类项目的特定风险相关的必要措施以有利于项目实施的方式加以采纳，同时遵守规定的安全要求。

研究和发展的的重要性

因此，需要持续地开展研究、发展和创新活动，以开发和改进各种方法和技术。这一努力应适应退役和环境整治的独有特性，即以非常规作业为主，同时受到环境和风险类型持续变化的影响。必须在同时要求不断改善安全条件、项目管理效率和相关成本的环境中进行这种努力。

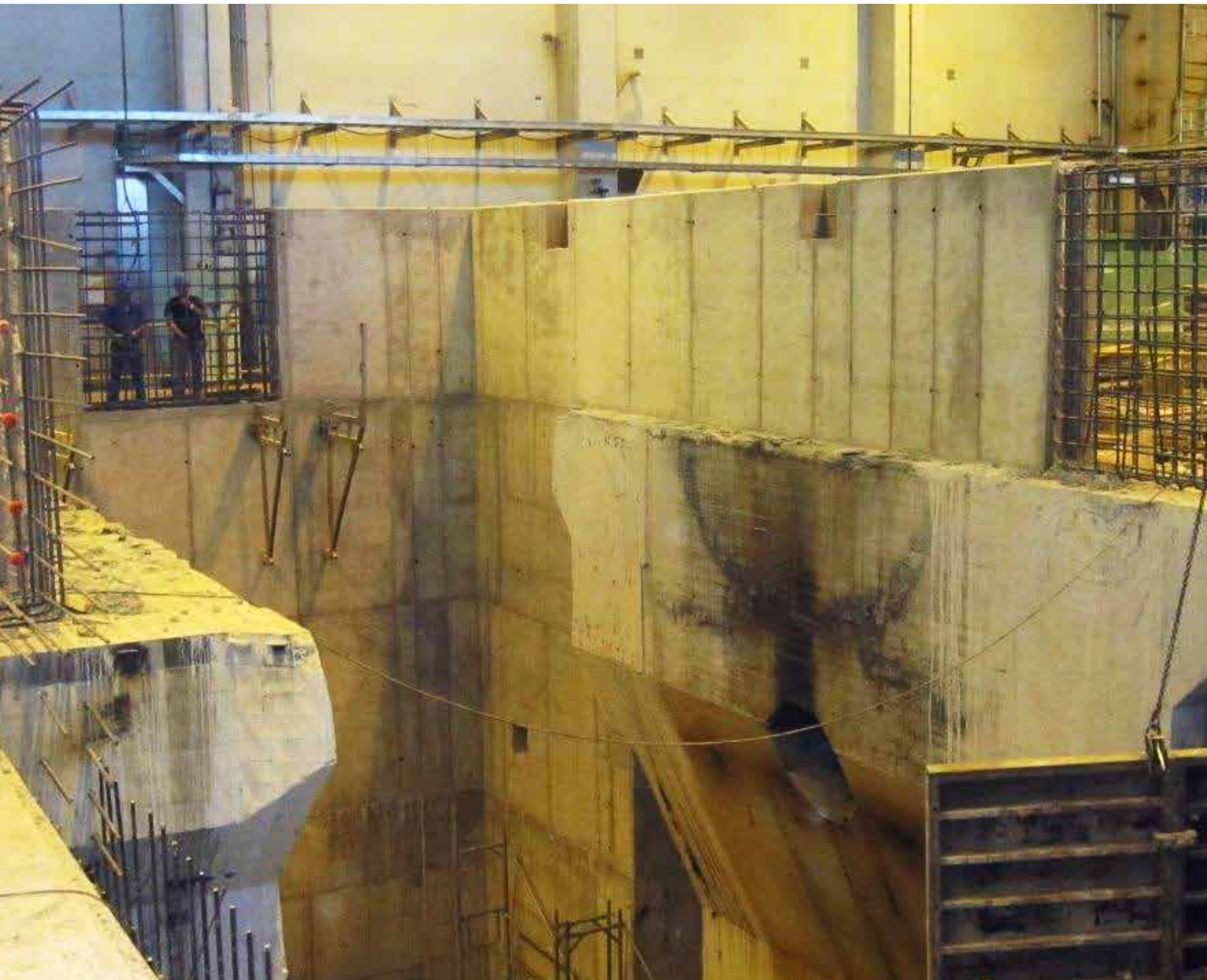
这些活动中的一个重要方面是需要把非放射性物质从放射性废物中分离出来。这一过程最大限度地减少了因其放射性毒性而要求特殊处理和管理的废物量。

对退役中产生的材料特别是放射性废物和乏燃料进行适当贮存和管理直至最终处置，确保不把责任留给后代。因此，缺乏管理途径和目标设施，会在审批过程造成困难，在任何情况下都会增加最终费用的不确定性。

培养年轻专业人才

这些活动要求拥有人才和合格的承包商。核领域的专业工作人员日益老化，难以吸引和留住年轻专业人才来加以替换。这种状况既影响到常规运行，或许更会对退役和环境整治产生影响。

公众接受是一个必要条件，对这些活动的有效开展至关重要。在这方面，为促进广大利益攸关者负责任和知情地参与决策，已就运营者和主管当局的责任达成广泛的共识。



在任何国家，这些活动的参与者都应作好应对意外情况的准备。政治、经济、社会、监管和环境的各种因素可能对这些活动从最初规划直至最后确定产生影响。

最后但同样重要的是，我想谈谈退役和环境整治的费用和融资问题。费用变化很

大，取决于设施类型、拆除策略、场址解控目标、管理所产生材料的基础设施的可接近性和可用性、监管框架和有效的法规。在这方面，日益重视确保获得充分的财政资源来执行和完成这些活动，避免将责任留给后代。

西班牙国家放射性废物公司已将何塞·卡夫雷拉核电厂的汽轮机大厅改造用作放射性废物管理设施。

(图/西班牙国家放射性废物公司)

新晋核电国家面临核基础结构发展的共同挑战



白俄罗斯正在奥斯特罗韦茨场址建设其第一座核电厂。

(图/白俄罗斯核电厂建设指挥部)

正在着手核电计划的国家需要确保其法律、监管和支持基础结构的发展与其核电厂建设同步。这是确保其核电计划以安全、可靠和可持续方式推进的唯一途径，这是参加去年2月在原子能机构举办的核电基础结构发展讲习班的人员得出的结论。“启动核电计划是一项严肃的事业，需要大量的财政资源和确保所需基础结构到位的隐性责任。”国际原子能机构核基础结构发展科科长Milko Kovachev说。“一个国家只有在作好准备和真实地了解所涉及的时间和资源的情况下，才能启动核电计划。”

首次引入核电的国家被称为“新晋核电国家”，在基础结构发展方面面临许多类似的重要挑战：完成国家核电计划的政策和战略、制定法律框架和建立独立的核监管机构、强化项目管理和培养技术熟练的员工队伍。

参加2月2日至5日举行的“第十届核电基础结构发展专题年度技术会议”的人员，包括来自新晋核电国家和正在运行核电国家的政府代表、未来业主/营运组织的代表、监管部门和其他研究机构的代表。

通过案例研究介绍，新晋核电国家的与会者讨论了各种问题，包括建立监管框架和许可证审批过程的复杂性。“知识渊博的独立监管人员对平衡核电厂运营者的作用和以透明的方式建立核安全标准和核安全文化是必不可少的。”来自瑞典的会议联合主席Per Lindell说道。

核电里程碑

“所有新晋核电国家都采纳了国际原子能机构的‘里程碑’方案框架，该方案是国际原子能机构为发展核电计划所需的核基础结构而制定的

关键导则。”本次会议联合主席、前摩洛哥核研究中心总干事Abdelmajid Caoui说。“这体现在成员国对安全、可靠及和平地利用核能作出的承诺；作为新核电计划的关键支撑的强力政府支持；监管机构、业主/营运者和技术支持机构的及早建立和参与。”摩洛哥正在考虑将核电作为其长期低碳能源，并于2015年10月接待了一次原子能机构“综合核基础结构评审”工作组访问。

白俄罗斯目前正在奥斯特罗韦茨建设其第一座核电厂。两台装机容量为1170兆瓦（电）的核电机组计划分别于2018年和2020年投入运行。在这次会议上，白俄罗斯能源部副部长Mikhail Mikhadiuk介绍了该国核电计划发展的路线图和关键里程碑。

“白俄罗斯于2008年决定启动核电计划，以便通过能源多样化来提高能源供应安全，降低电力生产成本，遏制温室气体排放。”Mikhadiuk说。“我们正在按照国际原子能机构标准实施核电计划。”白俄罗斯于2012年接待了一次原子能机构“综合核基础结构评审”工作组访问。

综合核基础结构评审：来自国际原子能机构的援助

“综合核基础结构评审”工作组访问是成员国在核基础结构发展领域可以请求提供的最重要服务。国际原子能机构副总干事、核能司

司长Mikhail Chudakov说。“我大力鼓励正在认真考虑引进核电的任何成员国讨论接待综合核基础结构评审工作组访问的可能性。”自2009年以来，原子能机构在13个国家开展了17次这样的工作组访问，并在最近出版了一份有关六年来开展“综合核基础结构评审”工作组访问的经验总结文件。

与会者还讨论了财政风险（包括监管风险）及如何缓解这些风险问

题。鉴于不断变化的能源成本及核电的费用和复杂性，成员国对这一领域的兴趣日益增加，这也是原子能机构今后会议将涉及的问题。

另外，人力资源的发展仍然是一个持续挑战。国家不仅要发现合适的人才并对他们进行培养，而且要确保他们经过培养后有合适的工作岗位，即使核电计划遇到推迟。

就许多成员国在决定是否启动核电计划时作出的初步考虑而言，能

源规划是考虑核电的第一步。这样的研究将通过预可行性研究和综合报告产生进一步的分析。国际原子能机构近期将出版关于这一过程和确定国家立场的新导则以及针对正在考虑核电国家的若干其他相关出版物。

—— Lenka Kollar和Elisabeth Dyck

小型模块式反应堆的安全和许可证审批要求：国际原子能机构举办首届监管人员讲习班

一种被称为小型模块式反应堆(SMR)的新一代先进预制型核动力堆可能获得许可证审批，最早会在2020年对市场产生冲击。国际原子能机构正在帮助监管人员为这些反应堆的亮相作准备。在今年初开始的一系列讲习班中，国际原子能机构与监管人员就小型模块式反应堆在世界各地潜在部署之前采取的安全和许可证审批方案展开密切合作。

在2016年1月国际原子能机构于维也纳举办的讲习班上，来自阿拉伯原子能署和阿拉伯核监管人员网的与会人员研习了小型模块式反应堆的安全要求、导则和许可证审批规程等专题。

“小型模块式反应堆对阿拉伯世界是一个很有吸引力的命题，因为在我们地区有半数以上的国家并不具有建设传统大型核电厂的资源。小型模块式反应堆更可行、更易管理、要求的投资较少，是阿拉伯国家应当考虑的一种非常可行的方案。”本次讲



小型模块式反应堆技术的开发进展。（图/国际原子能机构）

习班主席、阿拉伯原子能署署长 Abdelmajid Mahjoub 和其他政府组织。

由美国核管理委员会共同主办的这次讲习班，汇聚了正在或预计致力于建立小型模块式反应堆的国家安全和技术基础结构的监管机构、营运

参加讲习班的人员获得了有关监管机构的作用和许可证审批要求的详细信息，包括小型模块式反应堆设计、选址和运行的审批信息。国际原子能机构促进了监管人员对原子能机

构相关安全标准的应用和在国家法规中可能需要作出的修改进行了讨论。

小而安全

采用预制模块实现模块化设计、输出功率低于300兆瓦的小型模块式反应堆，将缩短建设周期，有望以具有竞争力的成本加以建设。目前有四座小型模块式反应堆已在三个国家建设。“尽管较小，但属于下一代的这种核动力反应堆的安全和安保措施与目前反应堆须遵守的国际义务并无差异。”国际原子能机构资深核安全官员Stewart Magruder说道。

适用于现有和在建核动力堆的全球安全和安保标准，大多数也适用于小型模块式反应堆。“我们需要制定一套明确而实用的安全和许可证审批要求。”国际原子能机构核装置安全处处长Greg Rzentkowski说。“监管方面的确定性对小型模块式反应堆的成功部署至关重要。”

今后几年，国际原子能机构将对该领域的其他工作加以协调。这可能包括制订总体安全目标和根据设施规模和类型规定相关要求的导则文件。

开发、评估和部署

这些预制核反应堆模块能够运到特定目的地，就像将制造好的部件从一个工业园运到另一个工业园。小型模块式反应堆的商业运行给国家和最终用户带来的潜在好处十分可观，例如，为偏远地区提供急需的电力，从而加强全球能源供应的灵活性。

小型模块式反应堆的开发始于大约20年前，一些国家独立开展了原型堆的应用。国际原子能机构已注意到参与小型模块式反应堆技术开发的成员国显著增加，反映了这种反应堆的部署对扩大国家电网和改善能源供应安全的巨大潜力。

国际原子能机构还正在拟订小型模块式反应堆部署的路线图和开展发展中国家小型模块式反应堆部署指标研究，以协助成员国发展、评估或部署小型模块式反应堆。

目前发展

目前约有50种为不同目的和应用而正在开发的小型模块式反应堆设计，有四座反应堆正在建设中：阿根廷

的工业原型堆CAREM-25、俄罗斯联邦的浮动小型模块式反应堆KLT-40S和RITM-200、中国的工业示范堆——球床模块式高温气冷反应堆（HTR-PM）。去年，沙特阿拉伯原子能管理局与韩国签署了在沙特阿拉伯建设被称为系统集成模块式先进反应堆（SMART）的小型模块式反应堆的协议。甚至传统的化石燃料生产商现在也在考虑小型模块式反应堆在向国家和地区电网提供更加多样化的能源供应方面的潜力。

“小型模块式反应堆是用于满足未来能源需求的最先进反应堆技术之一，成员国需要充分了解适用的安全标准和法规，以使这种新型动力堆得到成功地部署。”国际原子能机构核电技术发展科核工程师Hadid Subki说道。

2016年6月，国际原子能机构将为非洲核监管机构论坛成员举办关于小型模块式反应堆安全和许可证审批要求讲习班。

——Aabha Dixit和Miklos Gaspar

国际原子能机构达到放射源处置的里程碑

一项用于转移和贮存低放密封源的有前景技术的成功试验，将为处理全球少量放射性废物的新处置方法铺平道路。这种把密封源置于一个深达数百米的狭小钻孔中然后加以覆盖的方法，将使许多国家能安全和可靠地管理其弃用放射源。对该技术概念论证的试验于去年底在克罗地亚进行，没有使用实际放射性材料。

事实上，各国在医疗、工业和其他领域都应用放射源。尽管如此，

在放射源不再能使用的情况下，许多国家并没有处理这些源所需的设备或人员。据国际原子能机构估计，在通常情况下，一个使用密封源的发展中国家在几年中就会产生数百个低放弃用源。

“低放源因其在世界范围内以各种不同的形式和种类的大量存在而成为一个巨大挑战。”国际原子能机构核工程师Andrew Tompkins说。

大多数发展中国家对密封放射源

采取临时贮存。一些发达国家具有近地表处置设施。这两种贮存方式如果保护不充分，都会造成安保风险。新的处置方法是对这个问题的一种长期解决方案，将从根本上有助于保护人和环境。

由国际原子能机构工程师和克罗地亚辐射防护公司实施的设备试验证实了将低放源安全转移并插入钻孔中处置的系统的可行性。

试验的这一技术是为弃用低放



国际原子能机构工程师和克罗地亚辐射防护公司对用于在钻孔中安全和可靠处置低放源的新系统进行试验。

(图/国际原子能机构L. Gil)

源开发的，采用一个坚固的金属平台和一个用于将放射源安全放入钻孔中的转运容器。“该技术简单、经济实惠，能够在世界各地推广使用。”国际原子能机构废物技术工程师János Balla说道。

“我们认识到那些有低放废物、适度的基础设施及有限的人力和财政资源的国家需要一种安全、简单而实用的解决方案。”Balla说道。

防止盗窃和恐怖活动

加强核安保是促使开发这一新方法的一个重要因素。“鉴于弃用源仍具有放射性，我们想限制其被接触和用于恐怖活动的可能性。”国际原子能机构核安保官员Gert Liebenberg说，“弃用源一旦放入钻孔中，则不再容易被任何人接触到。”

最初的钻孔想法是南非核能公司(Necsa)提出来的，后来被国际原子能机构改造，与处置高放源结合起来。目前，马来西亚和菲律宾等一些国家正在进行钻孔技术准备和安全评估，以便在今后几年内实施这一方法。

国际原子能机构准备对有兴趣采用钻孔处置方法的国家专家进行培训，并向他们提供设备或技术规格方面的必要援助，以制造他们自己的转运容器。该钻孔技术类似于抽水打井技术，包括欠发达国家在内的大多数国家普遍可获得这一技术。

放射源处理

从治疗癌症的放疗机到一次性医疗用品灭菌的工业工具，放射源被广泛应用于医疗和工业领域。最常见

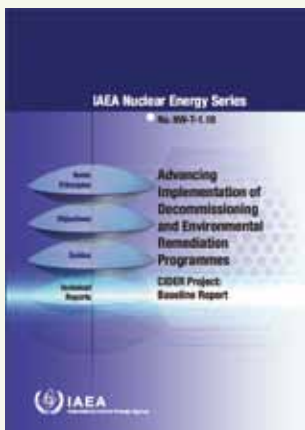
的密封源放射性水平比较低，或者半衰期短，也就是说它们仅在几个月至几百年内具有放射性。

在处置之前，所有的源都要经过称为整备的过程进行处理和再包装。在按这一方法进行处置准备时，几百个放射源（一个发展中国家每年通常产生的数量）占用不到一立方米，相当于一个小衣柜的大小。

一旦钻孔备妥，就将整备后的源装入一个专门设计的小罐或处置包中，随后进行密封。密封后的小罐再放入转运容器进行转运，最后放入钻孔中。

——Laura Gil

出版物预告



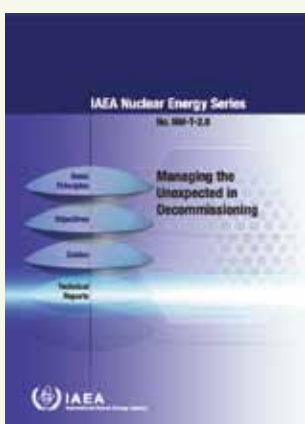
《推进退役和环境整治计划的实施》

“实施退役和环境整治的制约因素”项目：基线报告

讨论妨碍退役和环境整治项目实施的障碍，并提供用于克服这些障碍的方案。尽管近年来取得了显著的进展，但在解决核能早期发展遗留的问题方面，包括拆除多余的研究和燃料循环设施和发电厂以及整治受过去铀矿开采和加工作业影响的场址，仍有许多工作要做。一些国家正在处理这些历史遗留问题，并建立了相应的技术资源和专门知识，但许多国家计划仍面临重大的挑战。

国际原子能机构《核能丛书》第NW-T-1.10号；国际标准书号：978-92-0-101316-3；37.00欧元；2016年

www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10993/CIDER

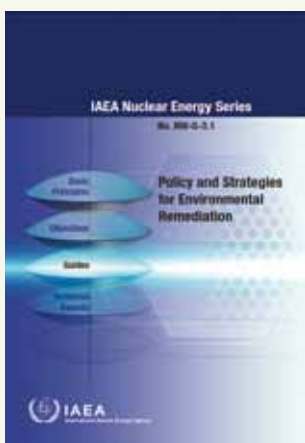


《退役中意外事件的管理》

探索退役过程中遇到的意外事件的影响和缓解办法，就考虑意外事件的同时如何规划和管理这类项目提供实际指导，并对意外结果使得需中止或重新考虑退役工作的一些情况进行分类和规定。该出版物包括对过去在应对退役挑战方面经验的评价。它将使未来的退役团队能够汲取这些经验教训，从而帮助他们减少额外的费用、时间延迟和不必要的辐射照射。

国际原子能机构《核能丛书》第NW-T-2.8号；国际标准书号：978-92-0-103615-5；35.00欧元；2016年

www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10786/Unexpected



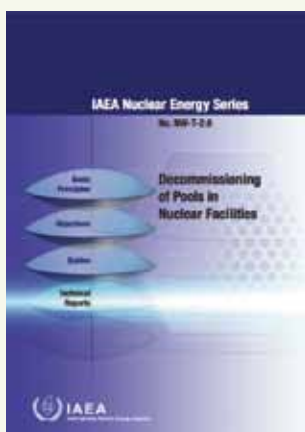
《环境整治的政策和战略》

描述实施环境整治所需的目标、时间表和工作，明确政策与战略之间的差异，并就如何制定和撰写这些类型的文件向成员国提供建议。它触及费用分配等方面以及环境整治有关各方的不同利益。

连同以前印发的国际原子能机构有关环境整治安全出版物，本书将有助于国家当局认识到将环境整治作为一个必要的组成部分纳入核相关活动的规划和实施中的必要性。

国际原子能机构《核能丛书》第NW-G-3.1号；国际标准书号：978-92-0-103314-7；20.00欧元；2015年

www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10622/Policy



《核设施水池的退役》

描述核设施水池退役的技术和规划方面问题，回顾并整合与水池退役，包括项目规划、健康、安全和产生的废物管理相关的全球可用的经验。

许多核设施利用水池冷却乏燃料或屏蔽研究堆堆芯或辐照装置源。核设施水池使用寿命可跨越几十年，会由于存放放射性物质变得污染。虽然水池退役的案例在技术文献中已有零星的描述，但还没有一份报告像本出版物这样如此全面地涵盖对污染水池的去污处理以及拆除战略和技术。

国际原子能机构《核能丛书》第NW-T-2.6号；国际标准书号：978-92-0-103115-0；55.00欧元；2015年

www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10669/Pool

Third International Conference on Nuclear Knowledge Management Challenges and Approaches

7 – 11 November 2016, Vienna, Austria



Organized by the



In cooperation with the OECD/Nuclear Energy Agency (NEA)



CN-241

10/2016