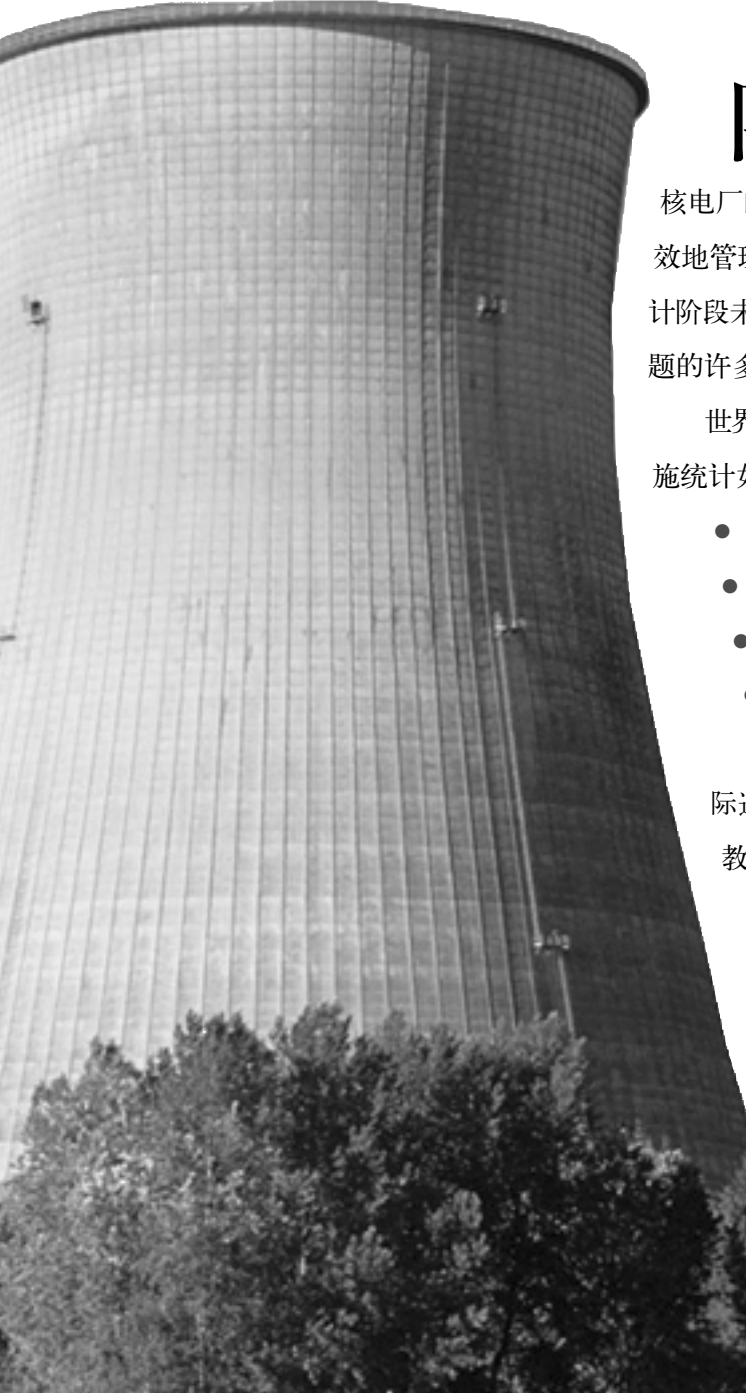


退役：

应吸取的教训

John McKeown

分享经验和合作对于世界核工业界应对安全、经济地恢复核设施场址这一挑战是至关重要的。



随着世界上许多核设施达到运行寿期，核电厂和核设施的退役也正在成为重要的全球活动。为了排除多余的核电厂的潜在危害，并证明现代核电厂的环境恢复工作可以安全有效地管理，仔细计划退役活动是必要的。目前老化设施的范围从设计阶段未考虑到环境恢复的实验厂一直到在设计阶段就考虑到退役问题的许多现代动力堆。全球的退役总费用预计为几万亿美元。

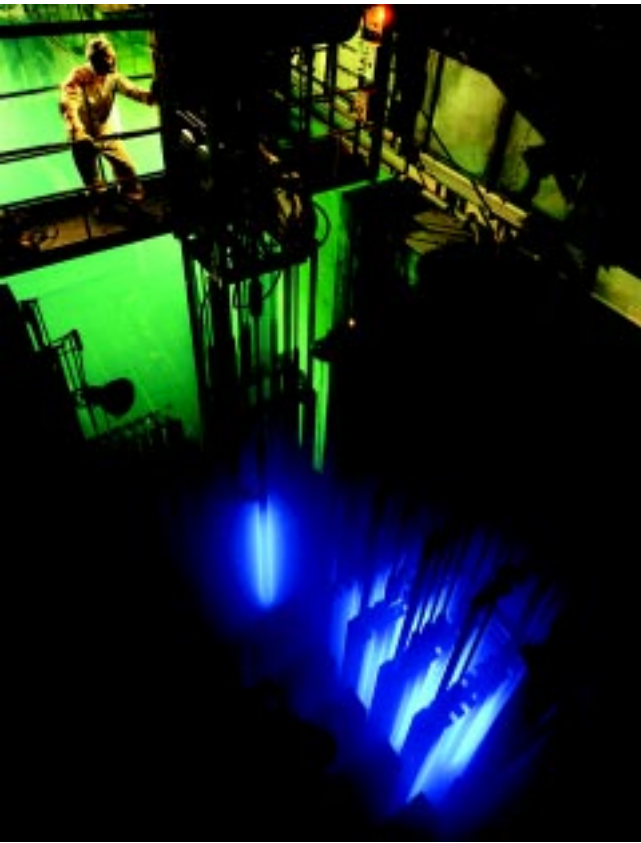
世界核协会数据库对已经停止运行并等待或正在进行退役的核设施统计如下：

- 115 座动力堆和研究堆；
- 5 个后处理设施；
- 14 个燃料生产厂；
- 60 个矿井。

本文根据英国原子能管理局（UKAEA）的经验重点介绍国际退役计划所面临的主要问题，以阐明核工业界应吸取的重要教训。

项目“专门知识”

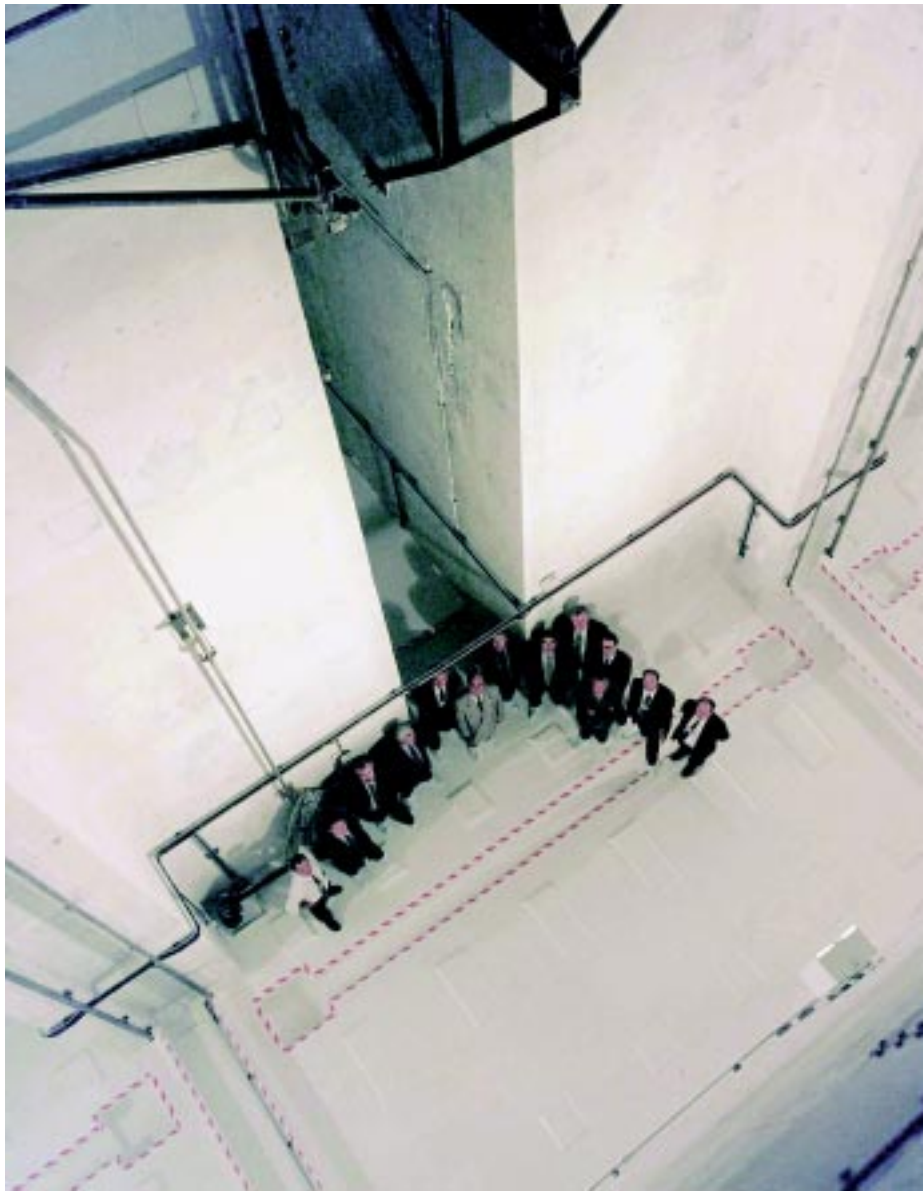
在世界各地，尤其是欧洲和美国，核工业界对核场址恢复所需的方法、组织、项目管理技能和合同策略有了越来越好的认识。各国之间正通过交流知识来解决特殊退役问题，如切尔诺贝利核电站和哈萨克斯坦的 BN350 反应堆



(上) 退役前: 运行中的温弗里斯蒸汽发生重水堆旁的燃料池

(右) 退役后: 参观者观看温弗里斯燃料池, 它已被成功排干并去污。

(来源: 英国原子能管理局)



问题。这种专业知识有助于实现可持续发展, 因为它不损害子孙后代满足其需要的能力。

拥有若干个反应堆以及相关燃料生产厂和废物处理厂的大型核场址所具有的复杂性, 使核工业采取了综合的环境恢复策略。例如, 美国的洛基弗拉茨场址和英国原子能管理局的敦雷场址就已经制定了全面的退役计划, 该计划结合使用了标准项目计划软件和专门的内部软件包。为在计划的初期阶段补救较重大的危害, 同时确保资源和费用分布最优化, 使资金发挥最佳作用, 退役工作应有先后次序。结合对最佳技术方案的研究, 这种办法将废物产生的时间分布与对新

的废物贮存和处置设施的要求对应起来。

关注项目交付并有严格的进展报告安排是成功退役管理的关键。公认的最好实践要求根据基线退役项目工作计划准确地监控费用。

废物管理

详细的计划是管理废物以达到目前和最终废物处置要求的根本。在源处分隔废物可以使所需要的费用和资源降至最低限度。良好的管理实践将确保在明确了整備、贮存和处置策略后才产生废物流。尽管在缺乏一个最终废物场址的情况下难以做到这一点, 但废

物产生者或所有者应慎重判断拟定标准的可接受性和各种废物形式对那些标准的适宜性。

遗产废物具有一些特殊的问题。它们通常处于一种复杂的非均匀形式，难以根据贮存和处置库运营者及监管者制定的详细特征要求进行处理、分类和分析。

共同培训

在整个欧洲普遍存在的一个问题是缺少合格的和经过培训的工作人员来进行核场址的恢复工作。公认的最好实践已经认识到，核工业与院校之间应在有关科目的培训和教育方面进行更广泛的合作。

有正面的迹象表明，欧洲目前正在致力解决这个问题。欧洲委员会框架计划支持建立网络和咨询委员会。欧洲原子能学会已考虑设立欧洲核工程硕士学位的建议。

英国贸易和工业部正在引导一个涉及业界、监管机构 and 院校的核技能倡议。英国原子能管理局在伯明翰大学赞助开设了核退役研究生课程。苏格兰北部的一个覆盖敦雷场区的新的高等教育机构——高地和岛屿大学（UHI）千年研究所，正在与欧洲其他的教育中心建立适当的联系。这些教育中心包括法国的国家核科学技术学院（INSTN）、罗马和卢布尔雅那的研究中心以及美国爱达荷瀑布国家实验室。

在工业战线上，正在进行核工程师的交换计划。英国原子能管理局已经接待过来自法国、哈萨克斯坦和立陶宛的工程师，并安排他们与本国的专业工程师一起工作。一家法国公司正在为进入UHI学习工程的学生提供赞助。

监管部门见解

逐步排除危害是恢复包括反应堆、化学厂或其他设施在内的遗留核设施环境的关键问题。这项工作必须安全地并且在与其相应的经认可的安全个案内进行。

尽管正在采用的安全个案的合理性基于具有短期成本和效益的当前状况，但长期退役项目的安全个案的合理性必须根据可持续发展和子孙后代的生存状况进行论证。

监管部门已经逐渐认识到，退役通常包括一系列去污和拆除工作，这些工作可以通过风险分析、方法说明和同行审议得到控制。因此，退役安全个案应该是一份分析各种危害和降低危害的各阶段的战略文件。监管部门同样认识到，在退役过程中，为减少长期危害有可能增加短期风险。

**共同的想法是，
分享经验、成果，
甚至教训，
将有利于世界各地类似核设施的退役。**

世界范围的业界合作

人们普遍认为，经验交流将有助于全球类似核设施的退役。全球快堆当前和未来的退役必定会有许多共同的问题，而业界现在已经完全能够交流这些问题，并分享解决办法。

为达到合作的目标已经采取了一些非常积极的措施：核能机构（NEA）退役工作组得到了足够的重视，它鼓励自由公开的讨论；世界核电营运者协会（WAHO）快堆退役小组会议同样非常重要。国际原子能机构通过国际小组制定优秀的技术文件，欧洲原子能学会帮助就欧洲一系列有关问题形成共同观点。重大的国际会议鼓励来自核工业各方面人员的参与。英国原子能管理局已经与欧洲和美国的机构达成了若干更加正式的互惠合作协议。

全球核场址恢复工作的教训

从英国原子能管理局的经验中汲取的教训与全球退役和核场址恢复直接相关。

技术和项目的主要问题是：

计划管理

复杂的多项目计划必须通过考虑整个项目界面和相互作用来有效管理。如可行，应使用成熟的商业软件。

废物管理

应适当说明废物流，以便制定相应的处理和处置办法。要在源处分隔废物。

工作人员经验

退役应在运行终止时开始，以便充分利用参与核电厂运行和维护的工作人员的经验和详细的知识。

废物处理

废物应该按照废物处置机构认可的现代标准进行包装。

遗产废物

关于退役工作实施的时间规划中应仔细考虑延迟的益处。在延迟会导致放射性水平减弱从而可以允许人员进入的情况下，应该实现简单性和高效率的好处。如果没有这种好处，及早退役可以利用核电厂有丰富知识的工作人员来有效加快退役的进度。

动力堆

如果短寿命同位素，如钴-60，随着时间的流逝不断衰

变，从而可以允许工作人员进入执行工作，那么一些动力堆的退役将会越来越简单和节省。一旦出现这种情况，必须向公众解释清楚，以避免造成公众对延迟退役的反感情绪。

工程复杂性

保持简单。在没有放射性危害的情况下，通过人员进入来处理机器无法解决的复杂问题。不要设计寿命长于工作期限的设备。

系统管理

实施一个管理系统，以提供符合国际标准的审计索引。

培训

世界各地今后似乎普遍缺乏合格的退役工作人员，因为没有新建核电厂，这几乎是必然的。必须通过分享现有知识来减少退役工作的总费用，并且应将这些知识传授给将来被招来参与退役工作的年轻工作人员。

干系人

与管理部门和其他干系人保持全面对话并讨论为此提出的建议。

国际合作

鼓励与其他国家进行类似项目的工作联系，并根据其他国家的相似计划来调整自己的工作，这一点是非常重要的。通过分享技术和系统来减少费用可以使退役工作更快、更经济和更安全。

英国的环境恢复工作

英国原子能管理局是1954年为开拓英国的核动力发展而建立的一家公共机构。由于裂变堆的初步计划已经完成，它正在为核场址的常规利用率先开发退役和环境恢复的新方法。英国原子能管理局还在牛津郡的卡勒姆场址保持一项积极的聚变研究计划，包括联合欧洲环（JET）设施，它还将负责其退役。

英国原子能管理局的环境恢复计划分布在英国的5

个场址。各个场址的反应堆类型都不相同，从早期的实验堆到热堆和快堆，以及各种辅助设施（如燃料生产厂和加工厂、废物处理厂和实验室）。对英国原子能管理局而言，在退役方面最大的挑战是在敦雷地区，那里的环境恢复所需的资金目前估计为43亿英镑（70亿欧元），并应在60年内完成。

核场址退役需要仔细分析各种可能的方案，制定详细的计划并进行有效的废物管理。英国原子能管理

局已经开发出先进的软件系统用于分析可能的退役情景，并给出每个方案的财政、资源和废物管理的结果。这套分析软件已经被应用于各种状况的核场址和核电站。2000年10月公布的敦雷场址恢复计划，对全球任何地方复杂的核场址来说都是最详细的环境恢复计划。

该计划除了要求制定安全标准和包括专家独立评估在内的同行评审程序以外，还要求高标准的安全文件。英国原子能管理局编制了一系列安全文件和运行程序来满足核及环境监管部门的要求。

合同策略

英国原子能管理局的政策是，详细说明必需的工作，促使公司竞争实施这些工作，从而使资金得到充分利用。合同的形式反映出各个项目的要求。通过考虑联合、联盟、传统或主承包商策略，来确定资金的最佳使用。

2000年签订的温弗里斯运行、维护和退役(WOMAO)项目是一个9年期的项目，它代表了与承包商合作的新方式。这种策略旨在建立一种紧密的客户—承包商关系，这种策略的成功正在产生成果。

敦雷原型快堆的联合合同是在英国原子能管理局与4个承包商之间签订的，目的是排除快堆部件和压力容器残留的金属钠。这种与适当激励机制结合、所有各方合作互助解决问题的概念已被证明是非常成功的。

进展和预测

英国原子能管理局已经退役13座反应堆和7个大型放射性设施。这个经验表明了电厂的详细资料可供使用和电厂未开始退化之时执行退役工作的益处。

有效的废物管理是成功恢复环境的关键。这需要一个连贯的废物策略、有效的安全个案、经证实的运行程序和全面的运行记录。

在敦雷场址，正在借助放射性废物清单实现有效的废物管理。在下一个阶段开始时，敦雷放射性废物文件就可以提供关于放射性废物战略数据的可信来源。它包括为进行废物处理而对每个废物流、它们的特性和历史策略、目前的计划和规划以及对废物传输的威胁的说明。这份详细的放射性废物清单是根据废物流表征文件而建立的。对于每个废物流，都有关于其产生过程、预期数量和产生的时间表以及废物的物理、化学、放射性和毒性细分的说明。这套适用的数据是按适当的质量标准提出的。

最近试运行的敦雷场址低水平固体放射性废物接收分析表征和超压缩厂(WRACS)采用的是一种新开发的废物管理技术。这个设施接收场址运行产生的低水平固体放射性废物，将其包在钢桶里，并为中间贮存和处置对其进行处理。通过射线照射来检查钢桶的内容物，并通过每日校准的灵敏仪器来分析放射性水平。经验收的钢桶接着在一个2000吨的压力机中进行压缩，以将体积减少到1/5。电厂确保对场址上的低水平放射性废物做精确的记录，这是废物安全管理的核心。

在位于牛津郡的英国原子能管理局的哈维尔场址上，50年前首先被贮存在地下贮存管道中的中放废物目前正通过远距离操作技术被转移，接着将进行表征、再包装，并按目前标准贮存在一个可回取的地面贮存库中。已经设计、开发和安装一个100吨的移动式屏蔽回取机，以取回老化的废物容器及其内容物。由于原来的容器被侵蚀导致在贮存管道中出现脱落的碎片，这些碎片必须被排除。这加剧了这项工作的复杂性。这个项目已经证明对贮存设施的预计寿期进行详细分析，以及开发在容器出现泄漏时回取材料的设备的好处。

英国原子能管理局正在对坎伯里亚温茨凯尔场址上的先进气冷堆进行退役，这将为英国商用先进气冷堆退役提供经验。已经开发出一系列先进的遥控操作设备，可以在预定日期内安全完成这项工作。



敦雷的中放废物贮存。(来源：UKAEA)

敦雷快堆 (DFR) 和原型快堆 (PFR) 的退役, 已经到了运用专业化遥控操作技术的后期阶段。已开发出的一种设备可以钻通原型快堆堆内构件的部件, 刺穿反应堆压力容器内特定的一回路钠管道, 促进液体钠的有效排出。将对敦雷快堆堆内构件的一些部分进行机加工以便移出卡住的增殖元件。遥控操作已开发和在模拟设施上试验, 这些设施将在放射性操作期间加以保留, 以利分析和解决问题。

尽管对于一些退役工作而言遥控设备是必要的, 但是手动操作也应该在适当考虑后加以取舍。受过专门培训的熟练操作人员通常能够安全迅速地完成任务, 受到的照射量也是低得可接受的。在一些最复杂核电厂的安全退役中, 简易性能够发挥重要作用。

核工业应吸取一些教训。在需要新方法的地方, 可以使用新技术。但是如可行, 应使用和改进可通过

商业渠道获得的设备。

核电厂场址的环境恢复将是核工业的重要工作。通过分享经验和合作可以使全球核工业界安全、环保、有效、及时地迎战这些挑战, 并充分发挥资金的作用。

John McKeown 博士是 2002 年 IAEA 研讨退役等课题的科学论坛的小组成员。McKeown 博士是英国原子能管理局的首席执行官。在此之前, 他在苏格兰核电公司工作, 负责健康、安全和许可证事务。电子信箱: John.McKeown@ukaea.org.uk。欲了解更多英国原子能管理局的情况, 请访问 www.ukaea.org.uk。欲了解更多 IAEA 科学论坛的情况, 请访问 www.iaea.org/worldatom/About/Policy/GC/GC46/SciForum/。