

“退役始于设计”

设计先进反应堆时如何考虑处置

文/Joanne Liou

从一开始就为寿期终结进行规划，可能并不是特别有吸引力，也不是优先事项。然而，当涉及核设施寿期时，考虑寿期终结的价值正促使设计者、供应商和监管机构提前解决退役问题。这种称为“退役始于设计”的前瞻性方案借鉴最佳实践和以往经验教训，贯彻同样适用于核安全、核安保和核保障的“始于设计”概念。从一开始就考虑退役，设施开发商可以作出使退役更安全、更高效、更具成本效益的设计选择。

原子能机构退役技术专家Helena Mrazova表示：“通过在核设施的设计阶段考虑退役，可以优化设施的最后阶段——退役，这是在反应堆寿期中必须要处理的事项。”早期几代核电厂在设计时注重短期运行实绩，而将退役作为事后考虑。例如，20世纪70年代在法国建造的一些石墨气冷反应堆的设计没有涉及如何拆除，现在证明这项工作很难实施。

“我们的设施高度超过60米，直径30米，墙体是厚达5米以上的混凝土，堆芯中容纳了数吨的石墨。拆除这些反应堆极具挑战性，因为它们在设计中根本没有考虑退役。法国电力公司最近建造了一个石墨反应堆退役示范设施（也已成为原子能机构协作中心），在全尺寸实体模型和数字三维模型上测试、改进和优化创新工具和远程处理技术，以验证退役方案的可行性，并优化这些反应堆的退

役，” Mrazova说。

厚望与机会

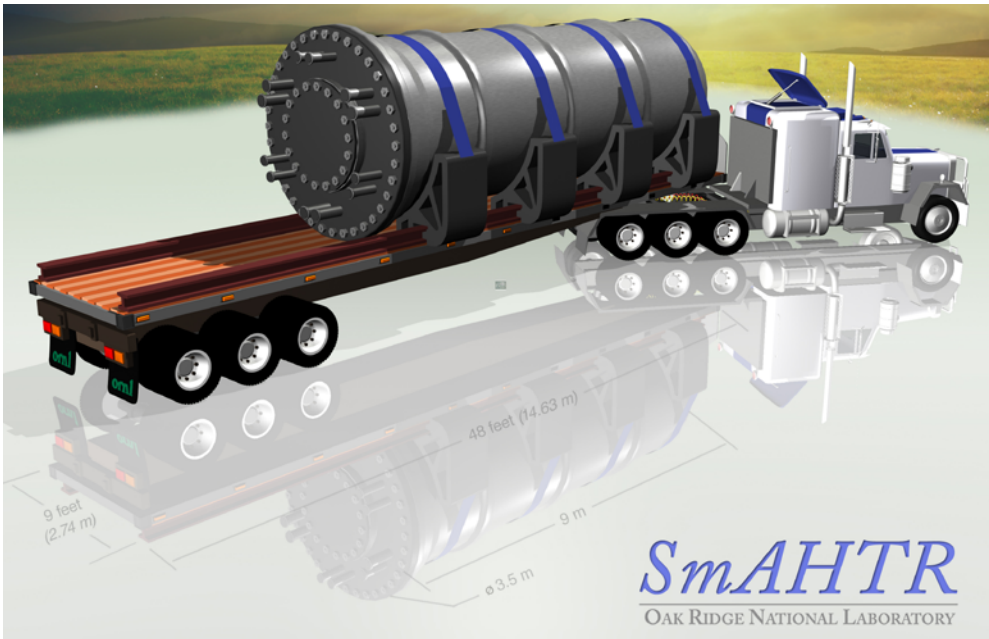
“退役始于设计”的目的是为了更好地规划退役活动的顺序，减少工作人员可能受到的辐射照射，以及减少放射性废物产生量，从而减轻废物设施和子孙后代的负担。加拿大海上和陆基移动式核电厂开发商即Prodigy清洁能源公司的监管事务总监Marcel Devos表示：“‘退役始于设计’不仅涉及物理设计特征，还包括如何规划和开展退役活动的业务架构。” Devos曾在加拿大核安全委员会管理“供应商设计审查”计划。他说：“确定筹资机制和明确退役责任对于成功完成报废过程至关重要。”

虽然“退役始于设计”还没有获得普遍采用，但加拿大已为实现这一前瞻性做法采取步骤。加拿大核安全委员会对反应堆供应商的审查包括在设计中纳入退役，其中吸取了原子能机构与经合组织核能机构记录的经验教训。“加拿大的未来业主和运营者越来越希望供应商完成‘供应商设计审查’过程，并制定明确的计划来解决发现的差距。行业正在认识到，报废考虑是许可证审批和环境评定过程中的一个优先事项。” Devos说。

人们越来越关注小型模块堆，这是一种功率有限的先进核反应堆，每座反应堆电功率通常高达300兆瓦。Devos说：“包括小型模块堆在内

“通过在核设施的设计阶段考虑退役，可以优化设施的最后阶段——退役，这是在反应堆寿期中必须要处理的事项。”

—国际原子能机构退役技术专家Helena Mrazova



许多小型模块堆设计较小，足以用卡车或船运集装箱运输。

(图/美国能源部橡树岭国家实验室)

的下一代核电厂的开发者有巨大的机会通过设计和部署过程解决与核设施寿期终止相关的社会问题，同时加快退役，并减少对子孙后代的废物负担。”

小型模块堆的退役

全球有80多个处于不同发展阶段的小型模块堆设计和概念。由于小型模块堆组合在规模、材料和技术上有所不同，这些先进反应堆的退役方案也会不同。Mrazova说：“退役过程将取决于设施的设计、可及性和紧凑性，以及国家乏燃料和放射性废物管理计划和实践。”

鉴于小型模块堆的模块化及其不同部署模式，可以重新定义传统退役实践。通常被称为微堆的一些较小的小型模块堆，设计成工厂组装，整体运至安装地点。在寿期结束时，模块将被送回原厂换料或运至退役设施。“这种方案可以减少成本和电厂所在地进行的活动范围，提高核和辐射安全，以及提高对小型模块堆部署

的接受度。” Mrazova说，“一些退役活动也有可能实现标准化，如回路设备的去污或拆除。”然而，这种方案也会留有一些任务有待解决，例如开发专用拆除工具和远程操作设备。

了解所用材料，如钢材类型，并了解对钢材生产商的要求标准，包括要求保持极低杂质含量以最大限度地减少活化，将对退役废物管理产生积极影响。通过在设计中纳入退役，事先仔细处理好材料成分，就可以限制杂质含量和对寿期结束时拆除工作的相关费用影响。

“包括小型模块堆在内的核设施退役的一般规则是采用‘退役友好型’设计，强调早期方案的重要性。” Mrazova说，“小型模块堆的突出特点，如模块化设计和材料选择，应使退役过程更高效、成本更低，并减少参与退役的全球工作人员的日剂量率。”

原子能机构正在编写一份专注于小型模块堆退役设计方面的出版物，预计将于2024年出版。