

少花钱多办事

最大限度地减少放射性废物的技术性指导意见

RUDOLF BURCL、MICHELE LARAIA 和 ARNOLD BONNE

在环境和金融问题极大地影响着工业生产的时候，核设施的高效运作以及对随之产生的废物的管理已显得更加重要。不断出现在决策过程中的一个关键问题是如何最大限度地减少放射性废物，以便降低费用。当然，孤立地考虑费用会使这个问题过于简单化，并可能带来其他不利之处，尤其是在放射性废物管理领域方面，因为这一领域涉及的因素很多，而且作出决定的时机很重要。

IAEA 在其技术文件中把废物最少化概念定义为“减少废物的数量和活度达到合理可行尽量低的水平”。然而，这一定义并未说明废物最少化的复杂性。废物最少化是更广泛和更全面的废物管理和安全文化的不可缺少的组成部分，这种文化旨在高效地减少所产生废物的放射学影响和环境影响。

不正确的废物最少化方针可能具有“正反两面性”——它可以节省开支，但也会引起新的危害或改变早

已与该设施有关的危害。在实现废物最少化的每一种方案中，要始终把费用效益与其他因素（尤其是与操作者和公众的安全有关的因素）比较考虑。

本文概要介绍最大限度地减少废物的工作中所涉及的重要技术问题，并指出决策时应该考虑的问题。重点是核电厂的运行和退役，因为这些活动是放射性废物的主要来源并预计它们在废物最少化的政策和技术方面取得成效的潜力最大。其他的废物生产者也可能应用这里讨论到的废物最少化方案。

实际情况分析

废物最少化涉及组织、工艺技术和经济等方面。因此，应在考虑一个个条件和各种情况下仔细分析每个项目。需要加以分析的类型、分析的详细程度以及内部和/或监管部门进行的审查的彻底性，应与所涉变化的显著性有关。当然，有些类型的废

物显然比其他类型的废物的问题更多，因而应不惜一切代价避免这类废物的产生。这方面的一个典型的例子是混合废物，这种废物既具有放射性，在化学上又具有毒性。

从废物最少化项目获得的实际收益与它们的复杂性和规模成正比。覆盖一个或多个核设施的国家级项目或公司级项目和/或在放射性核素的各种应用中系统地采取改进措施，预计能取得最大的成效。

在规划和执行复杂而比较重要的废物最少化项目时，通常要考虑下述的几个问题：废物最少化的方针；减少废物源以及使废物的体积最小以利于贮存或处置。

废物最少化方针。对废物最少化的严格要求源于普遍接受的放射性废物管理

Burcl 先生和 Laraia 先生是 IAEA 核能司核燃料循环与废物技术处职员。Bonne 先生是该处代处长兼废物技术科科长。

基本目标：“……从保护当今和未来的人类健康和环境且不给后代增加过重负担的角度处理好放射性废物”（《放射性废物管理的原则》，IAEA安全丛书 No. 111/F，1995年）。此规则也准确地反映在IAEA的多数相关文件以及IAEA成员国的监管和法律法规方面的基本文件中。

应该制定废物最少化方针，以作为协调规划和实施所希望的措施的概念性依据。除其他课题外，可能包括下列课题：

行政管理方面的考虑。这方面的考虑包括废物管理和废物最少化方面的法律法规依据，其中包括合适的和严格的废物解控与排放政策；明确电力公司和废物管理者之间的责任和商业安排；经济负担（经济支持、税率、贴现率）；质量保证体系；和工作人员的资格审查与培训。

技术和安全方面的考虑。这方面的考虑包括核电机组的装机容量与实绩、反应堆堆型与所在地；核设施和单个部件的设计原理；设施的预计使用寿命；废物的整备方针（国家的和特定设施的）；以及废物处置的方针，贮存与处置设施的规模、类型和地点。

减少废物源。降低废物

处理和处置费用的最直接的方法是在废物源头处减少所产生废物的体积和放射性活度。最超前的方法是在确定新设施的设计和建造的技术规格期间就考虑废物最少化的手段。审查和改变运行中设施的现行做法也能够大大减少废物的产生量。在设计阶段尽早考虑将来可能采用的退役程序，将它作为准确地制定退役作业计划这一工作的一部分，亦会大大地减少废物量。

在核设施的设计和建造阶段考虑废物最少化的要求，也许会对未来的运行和退役期间的废物产生量产生直接的影响。与设计有关的主要技术措施是：

- 合理地选择材料（耐腐蚀、高质量的表面处理、活化和/或产生可能带来麻烦的放射性核素的倾向较低）；

- 应用最有效、最可靠和最新的工艺技术，以确保设备能运转尽可能长的时间而毋需更换和/或维护；

- 使用高性能的部件和防止无意识地积累废物，以及使泄漏/排泄量减至最少以避免检修带放射性的部件和产生额外的废物；和

- 坚决将放射性的和非放射性的介质分开，并根据它们的性质和活度将放射性介质分类。

核设施的退役能产生数

量极大的放射性废物，其中大部分是低放废物或中放废物，而且其中的相当大部分属于“极低放废物”类。按体积计，中放废物和高放废物相对较少，粗略地说低于5%。通过下列措施可明显减少退役废物的产生量：应用合适的去污技术；将废液严格地分类和分开；回收和再利用部分金属和建筑材料；制定和执行合适的解控和排放政策。

在核动力厂，经过过去十年中操作人员协调一致的努力，已经使运行废物的产生量大大减少——以体积计已减少到原来的1/4至1/5，以总活度计则已减少到原来的1/10。在退役阶段预计也能从废物减少工作中获得非常大的收益，其主要理由是拆解产生的废物中大约有75%可以划为极低放废物，这些废物可以解除监管部门管制的可能性很高。

可有助于减少运行放射性废物产生量的典型实用措施是：

- 限制控制区的数量和范围，找出工作区内有可能阻止材料变成放射性废物的所有部位和流程内有可能阻止材料变成放射性废物的所有阶段；

- 建立废物的计量和跟踪系统，以便取得废物的源、类型、数量、活度和特性的定



量数据；

- 应用最新的工艺过程(良好的操作实践)和修改维护与整修程序,以减少废物；
- 重新利用所回收的材料(例如硼酸、特种金属和裂变材料),以减少废物产生量和降低运行费用；
- 循环使用和重新利用工艺过程中的液体(例如去污溶液和洗衣水),以减少需排放液体的体积和对环境可能造成的影响；
- 建立将废物分类和将废物流分开的制度,以防止不正确的混合和确保效率较高地鉴别其特性与随后的处理；
- 建立严格的制度,以

便在控制区内将非放射性污染废物和放射性污染废物分开；和

- 在工作人员之间增加关于减少废物的原理、技术和改进方法方面的信息交流,并在废物减少实践方面加强对工作人员的培训。

这些办法主要是供大型核设施的操作人员减少废物产生量用的,当然,它们也完全适用于放射性核素的小用户。

使废物体积最小以利于贮存或处置。操作人员减少所产生废物的体积的主要理由主要是为了减少贮存和处置费用,尽管这不是唯一的理由。由于公众和政治家反

对建造贮存和处置设施,并出于环境或其他方面的考虑,对废物管理机构来说,尽量利用现有贮存和处置设施的空间已显得更加重要。

各种处理和整备技术能使整备后废物的最终体积大大减少。

一种技术是将废料贮存足够长的时间,让放射性水平在此期间衰减。这种技术常用于减少由短寿命放射性同位素应用产生的废物,并

照片:德国的一座原型反应堆的压力容器封头在拆解期间被切割。合理规划反应堆的退役可以大大地减少废物量。

在一定程度上用于由运行中核设施或正在退役核设施所产生的废物。这种方法有可能简化随后的废物处理和/或整备过程和提高该过程的有效性,从而使这部分废物解除监管部门的管制。靠自然衰变减少放射性废物体积,是导致退役的核设施选用推迟拆除方针的一个重要因素。

另一种技术是循环使用和重新利用由核设施的整修与退役产生的金属以及某些类型的建筑材料(例如混凝土)。主要的经济效益来自于省去处置费用而带来的节省,而不是材料的直接重新利用或回用所致。同样的道理适用于金属废料的熔炼,通过熔炼可大大地减少废物的体积。

对某些类型的废物来说,可以采用先进的处理方法来减少废物体积和满足贮存和/或处置方面的监管要求。

对于大量的含放射化学和化学污染物的高度稀释的液体废物来说,正在开发先进的薄膜和微孔过滤工艺。例如,在美国的洛斯阿拉莫斯国家实验室,正在开发一种新的一体化的薄膜过滤系统,以便处理大约 600 万至 1000 万升液态放射性废物。二氧化钛微孔过滤系统的浓缩系数比薄膜处理方法还

高,因而可减少化学品的用量和提供可以排放的高质流出水。

薄膜法也可用来处理含不同比例的有机成分的复杂废物。它们可以作为一种高效的替代方法,代替用来分解有机化合物的较复杂的高温、催化和生物降解法。

其他一些基于焚烧和超压实的方法,已非常广泛地用于减少固体放射性废物的体积,减容系数可超过 10。通过对固体废物和许多种低放有机废物的混合焚烧,可以解决某些具体问题。例如,可以把用过的油和离子交换树脂转变成适合于最终的整备和处置的稳定而均匀的无机体。

及时的指导性意见

在核能的整个发展过程中,为了有效地管理放射性废物,已开发了一些工艺技

术和方法,其中包括放射性废物的最少化。最近几年出于环境和其他方面的考虑,法规要求更加严格,为了节省费用和满足这些法规要求,在处理技术和实践方面又取得了一些进步。

作为在该领域的工作的一部分,IAEA 已出版了许多种涉及放射性废物管理的各个方面的技术报告,其中包括使废物最少化的方针和实践^{*}。为了从放射性废物最少化的方针中取得实际效益,需要从环境、经济和技术角度充分评价所有可利用的选择。

在今后几年内,技术经验的合作交流将必须仍然是放射性废物管理计划的一个重要组成部分,这是因为将有更多的核设施成为退役的对象,并会不断开发出处理不同类型的废物流的新工艺技术。 □

* 这些报告包括: *Factors Relevant to the Recycling or Reuse of Components Arising from the Decommissioning and Refurbishment of Nuclear Facilities (TRS-293)*; *Planning and Management for the Decommissioning of Research Reactors and other Small Nuclear Facilities (TRS-351)*; *Status and Technology for Volume Reduction and Treatment of Low- and Intermediate-Level Solid Radioactive Waste (TRS-360)*; *Assessment and Comparison of Waste Management System Costs for Nuclear and Other Energy Sources (TRS-366)*; *Minimization of Radioactive Waste from Nuclear Power Plants and the Back End of the Nuclear Fuel Cycle (TRS-377)*; and *Characterization of Radioactive Waste Forms and Packages (TRS-383)*。