

清洁解控在反应堆退役放射性废物最小化管理中的应用

林晓玲¹, 董永和², 冯定胜¹

(1.中国人民解放军某部; 2.海军退役办公室, 北京 100086)

摘要: 简要介绍了“清洁解控”的定义, 阐明了清洁解控的原则、剂量准则以及清洁解控的分类。分析了压水堆退役预期可解控的废物及主要放射性核素, 并提出反应堆退役废物管理中解控废物分类监测的方法。它为放射性废物的解控管理提供了科学的依据和方法, 为反应堆退役放射性废物的处理、处置打下了一定的基础。

关键词: 放射性废物; 最小化; 清洁解控; 退役

1 研究综述

废物最少化是国际原子能机构(IAEA)确定的放射性废物管理基本原则之一。放射性废物最少化是指放射性废物的体积和重量合理可达到的最少, 以及废物中放射性核素合理可达到的最少。它同时考虑了废物管理的安全目标和经济目标, 具有重要的现实意义。

核设施退役过程中会产生大量的放射性物质, 特别是放射性固体废物, 退役活动在本质上是放射性废物管理问题。废物管理的目标是安全、经济、有效。如果把退役过程中产生的废物都作为放射性废物处理, 虽满足了安全可靠的要求, 但违背了废物管理最少化原则, 后续的整备、处理和处置需要大量的经费, 大大增加了经济负担。因此核设施退役过程中, 应正确处理产生的各种废物, 在保证可靠性和安全性的前提下, 贯彻废物最少化原则, 控制放射性废物产生量。

解控是放射性废物管理中的一个重要环节。所谓解控就是将放射性水平符合清洁解控标准的废物从放射性管理控制中分离出来, 不再受主管部门的审管。解控处理对于减少放射性废物量, 实现废物管理的正当性、安全性、经济性、有序性具有重要的现实意义。

本文探讨压水堆退役放射性废物最小化管理中如何应用解控。

2 清洁解控基本原则及分类

2.1 清洁解控基本原则

国际原子能机构于1988年对豁免总原则达成国际性共识^[1], 该原则同样适用于解控。从辐射防护观点来看放射性废物是否可以申请解控, 有三项基本原则:

- (1) 被解控的废物对个人造成的辐射危险是可以忽略的, 不值得实施管理;
- (2) 将管理控制的代价考虑在内, 辐射防护必须是最优化的。
- (3) 被解控的废物本身必须是安全的, 不可能出现导致不满足上述两项原则的情况。

2.2 剂量准则

根据解控总原则, 国际上提出了以下两个剂量水平作为实施解控的剂量依据。

- (1) 被解控的废物在一年内对任何公众成员预计造成的有效剂量在 $10\mu\text{Sv}$ 量级或者更小;
- (2) 被解控的废物在一年内造成的待积集体有效剂量不大于 $1\text{人}\cdot\text{Sv}$, 或者防护最优化评价表明解控是最优化的选择。

作者简介: 林晓玲(1968—), 女, 高级工程师, 硕士, 辐射防护专业

满足这两个剂量判据的放射性废物可以被解控^[2]。各个国家推荐的解控水平都是以这两个剂量水平为基础推导计算的。

2.3 清洁解控分类

解控分为无条件解控和有条件解控。无条件解控是指将放射性物质从管理控制中释放出来，没有任何附加条件的限制，即不管其将被如何利用，也不管将被如何处置。无条件解控是完全解控，其归宿不受任何限制，通常分为三类：(1) 可作为普通垃圾处理；(2) 不受限制地直接再利用；(3) 不受限制地再循环。

在一定限定条件下实施的解控叫有条件解控。通常，以这种方式解控的物质，其归宿预先已是已知的，或者预先被限定好的，也可分为三类：(1) 内部直接再利用；(2) 内部再循环；(3) 填埋处置。

3 压水堆退役可解控的废物及主要放射性核素

3.1 预计可解控的废物种类

压水堆退役预计可解控的物料主要是钢制品，其次是铅，还有少量其他材质的废物。

(1) 作为一般垃圾处理的废物，如微量污染的防护用品和杂项废物等。

(2) 可再利用的设备、物料。如二回路的大部分系统设备、退役过程中使用的部分设备和工器具等。

(3) 可再循环的设备、物料。如二回路的大部分系统设备、一回路小部分系统设备等。

(4) 可内部再利用的设备、物料。如反应堆厂房、二回路的大部分系统设备、一回路小部分系统设备、部分一次屏蔽材料和二次屏蔽材料以及退役过程中使用的大部分设备和工器具等。

(5) 可内部再循环的设备、物料。如一回路小部分系统设备、部分一次屏蔽材料等。

(6) 填埋处置。如轻微污染的防护用品和杂项废物等。

3.2 主要放射性核素

压水堆退役，系统设备中的主要放射性核素是活化核素 Co、Ni、Fe、Mn。随着反应堆运行终止时间的延长，短半衰期核素逐渐衰变掉了。实验分析表明，停堆 10 年后，活化部件和表面污染部件中主要放射性污染核素是 ^{60}Co 、 ^{63}Ni 、 ^{55}Fe 。

4 清洁解控水平

4.1 建立清洁解控水平的必要性

如前所述，解控剂量准则是判断放射性废物是否可以解控的依据，但剂量准则给出的剂量属于累积剂量，不能直接测量，不具有可操作性，因而非常有必要从以累积剂量表示的剂量限值导出易于监测或评价的量，如比活度 (Bq/g) 或表面污染活度 (Bq/cm^2)，作为实施解控的直接依据，这种易于监测或评价的量就是清洁解控水平。所谓清洁解控水平就是审管部门规定的以活度浓度和 (或) 总活度表示的值，辐射源 (物料) 的活度浓度和 (或) 总活度等于或低于该值时，可以不再受审管部门的审管。可见建立清洁解控水平非常必要。

4.2 目前可执行的清洁解控水平

针对前面的解控分类，目前我国尚没有一套明确的、可供操作使用的清洁解控标准，尚缺少作为一般垃圾处理的废物解控标准、可内部再利用或再循环的设备材料解控标准以及掩埋处置标准。

国家正式颁布实施的清洁解控标准只有 GB17567—1998 “核设施的钢铁和铝再循环和再利用的清洁解控水平” (该标准在修订)。压水堆退役产生的主要是钢制材料，其再循环和再利用可执行该标准。

其次，表面污染的设备、材料、厂房的回收再利用还可执行 GB11850—89 “反应堆退役辐射防护规定”。

5 解控废物分类监测

5.1 活化物料测量

对预计再循环或再利用的物料进行取样，并进行实验室分析以确定单个核素的放射性活度或浓度。所取样品应具有典型性和代表性。为降低成本，采用统计法取样，对统计性不强的部位，应逐一取样。

根据材料中所含核素特性，采用 γ 谱仪测量样品中 ^{60}Co 比活度，采用液体闪烁器测量 ^{63}Ni 和 ^{55}Fe 的活度。并根据样品中核素活度推算部件或设备中核素的总活度。具体测量方法可执行 GB/T17947—2000“拟再循环、再利用或作非放射性废物处置的固体物质的放射性活度测量”。

5.2 表面污染测量

若反应堆寿期内没有发生燃料棒破损，系统设备表面污染属于 β/γ 污染。采取间接测量和直接测量两种方法。间接测量采用擦拭取样方法，擦拭面积不小于 400cm^2 ，然后采用表面污染监测仪或低本底测量仪测量擦拭样品。直接测量就是采用便携式 β/γ 表面污染监测仪直接测量被测物料表面污染水平，需切记将预计解控的物料置于无辐射干扰的环境下进行测量。将表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的物料分拣出来，进行解控。

6 建议

(1) 制定清洁解控水平除了需要考虑辐射安全方面的因素外，还要考虑社会、经济等因素，因此各国制定的清洁解控水平不尽一致。我国现行的有关标准不能完全满足现实需要。建议开展清洁解控水平的计算研究，尽快制定无条件解控、掩埋处置、内部再利用和内部再循环的清洁解控水平标准。

(2) 建议明确清洁解控的审管程序。

参考文献：

- [1] IAEA, Principles for the Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control. IAEA, No.89, 1988.
- [2] IAEA, Application of Exemption Principles to the Recycle and Reuse of Materials from Nuclear Facilities. IAEA NO.111-P-1.1.

Application of clearance principles to radioactive waste from the decommissioning of nuclear reactors

LIN Xiao-ling¹, DONG Yong-he², FENG Ding-sheng¹

(1. A PLA, China; 2. Navy Decommissioning Office, Beijing 100086, China)

Abstract: The definition of clearance is introduced. The principles and dose criterion of clearance are also clarified. The main radionuclides in radioactivity waste and the radioactivity waste which can be cleared are investigated. The techniques for the measurement of radioactivity waste from the decommissioning of nuclear reactors are summarized. This paper provides the scientific criterion and methods for the management of radioactive waste, and lays the foundation for the treatment of radioactive waste from the decommissioning of nuclear reactor.

Key words: radioactive waste; minimization; clearance; decommissioning