

# 退役放射性固体废物固定工艺的研究设计

邓浚献, 樊秀梅, 朱华, 李强, 于庆宇, 邵立达

(北京核工程研究设计院 北京 840 信箱二室 100840)

**摘 要:** 核反应堆退役产生大量的放射性固体废物, 为了最终处置必须将其整备, 废物固定是整备的一个方面, 本文主要讨论固体废物的固定工艺。

**关键词:** 核设施退役; 放射性废物管理; 放射性废物整备

## 1 引言

放射性废物管理包括废物预处理(收集、分拣和分流、化学调剂、去污)、废物处理(减容、从废物中去除放射性核素、改变组成)、废物整备(固化、固定、埋置、封装、固结)、废物运输和贮存、废物处置等。对于固体废物的整备有固定、埋置和封装, 而固定就是通过埋置或包容等手段把废物转化为一种在装卸、运输、贮存和处置时放射性核素迁移或弥散可能性小的废物体; 其中埋置就是在固体废物(如金属部件)周围充以基料(如水泥浆、熔融沥青)形成一个废物体; 封装就是使弥散物(如灰、粉末、固体废物)同基料混合形成整块的废物体<sup>[1]</sup>。

## 2 固定工艺

固定工艺是把放射性废物用混合或加入适合的材料而处理成一整体基体, 固定的首要目的是改善与随后的处理步骤相关的安全性。目前, 最广泛使用的固定介质是水泥或混凝土, 但是沥青和有机聚合物也有应用。材料和它们的组合如水泥/沥青、沥青/聚合物, 玻璃和陶瓷材料也在某些设施中应用或在开发中<sup>[2]</sup>。通常在容器中的基体材料必须适应:

- 废物中的放射性成份(放射性核素的类型和寿期、比活度和放射性水平等);
- 废物材料的化学和物理性质;
- 与处置条件有关的包装特性。

选择基体材料和固定工艺并仔细考虑安全有关的特性来鉴定包容或不相容性。这些安全特性和合适的措施将提高固定工艺和装卸、运输、贮存和处置操作的安全性。

在固定工艺过程中形成了包容和限制放射性核素扩散的第一道屏障, 屏障的重

要特性是：

- 与废物的相容性
- 均匀性；
- 低渗透性；
- 机械强度；
- 对外来因素（化学、生物等）的抵御；
- 对热和辐射的抵御；
- 贮存期的稳定性。

此外，基体材料应当是易于操作的，并且固定的废物体积和未处理的废物体积相比不能增加太多。基体材料的选择应当考虑当地、国家或国际的工业可用性和相对经济性。

对文献的调查表明，用水泥固定中低放废物已经实践了多年，多数的设施是为了固定来自核电厂和核研究中心的废物而设计。采用水泥的主要原因是：

- 装卸比较简单；
- 在土木工程操作中的经验广泛；
- 原材料的可用性；
- 较低的费用；
- 水泥产品的高密度（屏蔽效果）和机构强度；
- 水与基体材料的相容性<sup>[3]</sup>。

### 3 水泥固定工艺

当使用水泥包装废物材料时，常常采用土木工程应用过的标准的水泥砂浆成分。

用水泥混合废物的工艺可以分为两类：容器内搅拌和在线搅拌。

#### a) 容器内搅拌

容器内搅拌工艺包括在可处置的容器内把废物和水泥混合。所用的搅拌技术包括：

- 翻滚或滚动一个里面盛有可处置混合物的密封容器；
- 用一个可处置的搅拌器来搅拌容器内的成分，搅拌器留在容器内一起处置；
- 用一个可复用的元件搅拌容器内的成分，并在容器加盖和混合物硬化之前将

可复用搅拌元件取出。

#### b) 在线搅拌

在线搅拌包括废物和粘结剂混合后转送到可处置容器的全部工艺。这些工艺包括：

- 批次混合，废物和粘结剂在一个工艺容器内混合，然后分批转送到可处置容器；
- 连续混合，废物和粘结剂连续度量并送入混合器混合，混合物连续转送到可

处置容器。

可把添加剂按需要在系统的适当位置送入水泥混合物。通常应对清洗系统内、外做出规定<sup>[4]</sup>。

### 4 固定和包装工艺的选择

针对核废物的水泥固定工艺（加或不加添加剂）已广泛用于很多国家，并且以工业规模运行了多年。

对于固体废物的固定，容器内搅拌不适用。在线搅拌的水泥浆产出量太大，我们只需要用水泥浆填充隙，水泥浆用量很有限，也不适用。

我们要采用成熟的搅拌机，制备水泥浆或混凝土。在各种现有的用于处理废物的水泥化工艺中，水泥浆特别适合于我们要涉及的废物类型。把放射性固体废物置于容器内，用流动的水泥浆填充空隙，用震动保证水泥很好地渗透到废物周围。这些技术能使废物紧凑地包装在桶中。废物，如装在桶或容器内的被污染金属、玻璃和设备，用向容器中灌水泥浆来固定。固定金属废物，必须考虑有些金属（铝、锆）与水泥浆中的碱水或在潮湿条件下从混凝土扩散的水之间可能产生气态氢的反应。为了克服这个问题，不要把废物桶密封或使容器气密。

废物包装应满足随后的废物管理所采用的程序，尤其是运输、贮存和处置条件。使用的废物容器的主要类型是钢桶（200L、400L）、带有混凝土衬里的钢桶（提供一定的屏障）、大型钢容器和可处置的预制混凝土容器<sup>[5]</sup>。包装首先用做固定废物的容器，此外还能提供屏蔽，增加机械强度和抗腐蚀性，并减小污染风险，提高安全性而且易于装卸<sup>[1]</sup>。

### 5 退役废物固定工艺的实施

#### 5.1 工艺流程

a) 接收的废物是经过处理后放入可处置的废物容器内的，预先要经检测列出所

盛废物的放射性核素和活度的清单。

b) 用小型水泥搅拌站制备水泥砂浆。

c) 将盛有固体废物的桶，用振动台和移动机构，使废物桶口各部位都能顺序对准出料口，灌满水泥砂浆。

d) 水泥养护凝固后按废物处置场接受要求将废物桶加盖包装。

## 5.2 主要设备

a) 小型水泥搅拌站；

b) 振动台和移动机构；

c) 检测设备；

d) 物料运输设备；

e) 水泥搅拌站中心控制台。

## 6 结论

对于核反应堆退役产生的放射性固体废物的固定，要经过仔细调查研究，选用成熟的常规设备可以满足功能要求。

## 参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国家标，GB/T 4960.8—1996 核科学技术术语 放射性废物管理，国家技术监督局。
- [2] IAEA, TREATMENT OF LOW—AND INTERMEDIATE—LEVEL SOLID RADIOACTIVE WASTES, Technical Reports Series No. 233, IAEA, Vienna, 1983, 75—76.
- [3] IAEA, CONDITIONING OF LOW — AND INTERMEDIATE — LEVEL RADIOACTIVE WASTES, Technical Reports Series No. 222, IAEA, Vienna, 1983, 29—30.
- [4] IAEA, IMPROVED CEMENT SOLIDIFICATION OF LOW AND INTERMEDIATE LEVEL RADIOACTIVE WASTES, Technical Reports Series No. 350, IAEA, Vienna, 1993, 63—64.
- [5] IAEA, Treatment and conditioning of radioactive solid wastes, IAEA — TECDOC—655, Vienna, 1992, 43—44.