

# The Treatment of Spent Radioactive Resin by Steam Reforming Technology

Ruoxia Ma, Xianghong Fang, Bin Yang, Xinsheng Shao

CPI Yuanda Environmental-Protection Engineering Co., Ltd., Chongqing  
Email: [6233469@qq.com](mailto:6233469@qq.com)

Received: Sep. 23<sup>rd</sup>, 2015; accepted: Oct. 11<sup>th</sup>, 2015; published: Oct. 20<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

By far, the problem of treating spent radioactive resin has not been satisfactorily solved. It is a difficult problem in radioactive waste management. This paper mainly introduces the application of steam reforming technology to treat spent radioactive resins, *i.e.* the equipment, processing reaction principle and technological advantages, etc. It offers an optional technology for treating spent radioactive resin.

## Keywords

Steam Reforming Technology, Fluidized Bed, Spent Radioactive Resin

---

# 蒸汽重整技术处理放射性废树脂

马若霞, 方祥洪, 杨彬, 邵新生

中电投远达环保工程有限公司, 重庆  
Email: [6233469@qq.com](mailto:6233469@qq.com)

收稿日期: 2015年9月23日; 录用日期: 2015年10月11日; 发布日期: 2015年10月20日

---

## 摘要

放射性废树脂的处理是迄今尚未圆满解决的问题, 是放射性废物管理中的一个难点。本文重点介绍了应

用蒸汽重整技术处理放射性废树脂的处理流程、设备、反应原理和工艺优点等内容，为处理放射性废树脂提供了一种可供选择的处理技术。

## 关键词

蒸汽重整技术，流化床，放射性废树脂

## 1. 引言

放射性废树脂是指压水堆核电厂在运行和退役过程中从处理含有或可能含有放射性核素的液体所使用的除盐器中排出的废离子交换树脂。通常来自一回路系统和乏燃料水池冷却水处理系统的除盐器的废树脂放射性活度浓度较高，来自废水处理系统的除盐器的废树脂放射性活度浓度中等，来自二回路水处理系统的除盐器的废树脂不含放射性或放射性活度浓度很低。

放射性废树脂的处理存在较大的难度，被公认为问题废物，因为：1) 废树脂富集了放射性核素，且比活度相差很大( $10^6\sim 10^{13}$  Bq/kg)；2) 废树脂属可燃放射性有机物，含较多硫和氮，焚烧处理会产生腐蚀性、污染性放射性气溶胶和放射性灰渣，且往往树脂燃烧不充分，会产生大量的有害物质；3) 废树脂辐解或热解、生物降解时，会产生  $H_2$ 、 $CH_4$ 、 $C_2H_4$ 、 $NH_3$  等燃爆性气体；4) 废树脂长期存放会粉化，在槽罐底部出现板结，造成回取困难；5) 废树脂是弥散性物质，不允许直接处置(除非脱水后装入高整体性容器)；6) 废树脂体积变化大、质量轻，自然界难以降解[1]。

目前针对废树脂的常见处理方法有：固化法(水泥固化、聚合物固化、沥青固化、塑料固化等)、热压法、生化分解法、氧化分解法、高整体性容器直接包装法、洗脱处理法等。在相关文献中记录了以上各类处理方法的优缺点[1]-[4]。

为了解决废树脂以及其他复杂的放射性废物，Studsvik 公司开发了蒸汽重整技术(THOR<sup>®</sup>工艺)，这种技术能够处理的放射性类型很多，如含有机物成分的废物、高硝酸盐和亚硝酸盐废物、高固体含量和含重金属废物、放射性废树脂、石墨和其他干废物等。本文重点介绍应用蒸汽重整技术工艺处理放射性废树脂的处理流程、设备、反应原理和工艺优点等。

## 2. THOR<sup>®</sup>工艺流程描述

图 1 为简化的蒸汽重整技术处理放射性废树脂工艺流程图，主要的处理设备包括废树脂暂存罐、裂解重整器、高温过滤器、尾气洗涤器、热氧化器和其他尾气过滤、排放设备[5] [6]。

盛装废树脂的转运容器运至蒸汽重整处理装置所在的厂房，通过树脂浆液泵送入树脂暂存罐中。在树脂暂存罐中的树脂自然沉降，水可以从暂存罐顶部流出。进入裂解重整器之前，添加剂与废树脂充分混合，混合后的浆液连续进入裂解重整器中。添加剂的类型和数量应根据待处理树脂的特性、最终产物的形式和处理装置的运行条件确定。加入添加剂的目的是为避免长期运行时废物产生凝结，以及使形成的最终产物具有抗浸出特性。

THOR<sup>®</sup>工艺处理放射性废树脂的核心设备是裂解重整器。裂解重整器是圆柱形的容器，其中装填一定高度煤，底部的煤在蒸汽作用下呈流态化，使裂解重整器底部形成流化床，并且上部有气相自由空间。裂解重整器的运行温度为  $650^{\circ}C\sim 750^{\circ}C$ ，废树脂覆盖在床体颗粒上，其中的液体被汽化，大部分有机成分被破坏变成碳氧化物和水，少量有机成分挥发，被尾气夹带出裂解重整器，并带有微量的  $CO$ ， $H_2$  气体和短链有机物( $CH_4$ )。最终固体产物为尺寸很小的无水颗粒，其中包含了包括了 99.99% 以上的放射性核素。尾气中会夹带少量的固体产物，确切的尾气组分随着待处理废物、运行条件的不同而不同。

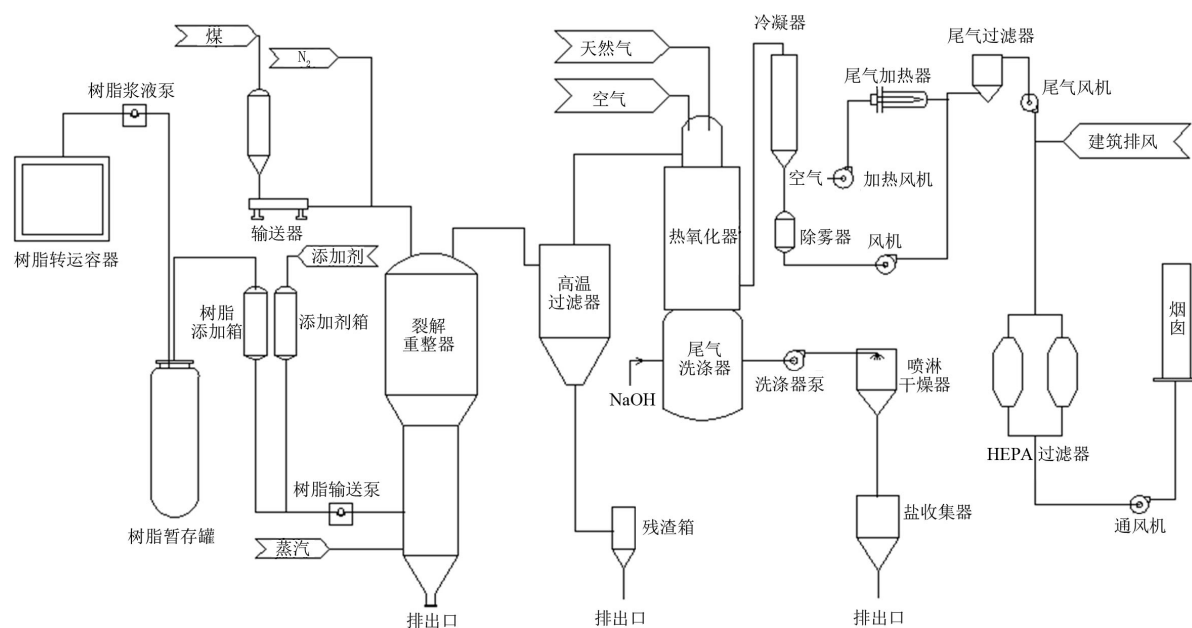
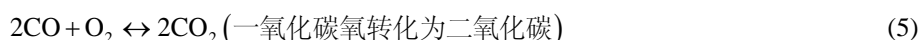
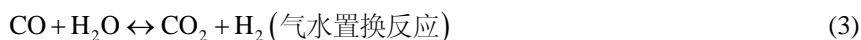
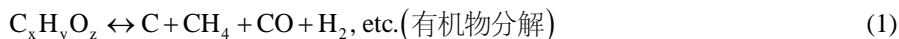


Figure 1. The diagram of steam reforming technology to treat spent radioactive ion exchange resins [5]

图 1. 蒸汽重整技术处理放射性废树脂工艺流程图[5]

裂解重整器中的气相反应如下：



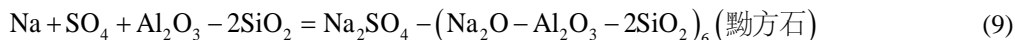
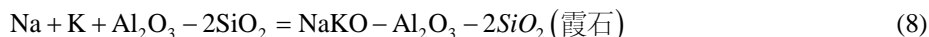
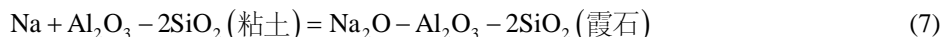
被尾气夹带的固体产物颗粒被高温陶瓷纤维过滤器过滤，过滤后的滤渣在残渣箱中收集，气体进入热氧化器中。热氧化器的作用是破坏尾气中的有机物，并氧化 CO 和 H<sub>2</sub>。进入热氧化器的尾气温度约为 600℃，与空气和天然气混合燃烧，使所有的一氧化碳、挥发性有机物和痕量的氢气变为二氧化碳和水蒸气。

从热氧化器中出来的高温气体通过文丘里管，进入尾气洗涤器，洗涤器中有控制 pH 值氢氧化钠溶液，用来冷却热气体至 80℃ 左右，同时氢氧化钠溶液吸收和中和酸性气体。生成的盐溶液被泵入喷淋干燥器中，并在其中雾化、干燥和收集，产生直接可以处置的极低水平的废物。干净的、含水分的尾气从洗涤器中排出，经过冷凝器冷凝去除水分。尾气用电加热器将其加热至 120℃~140℃，以保证排气的干燥。与建筑物排风的空气流混合后，尾气通过烟囱排放。尾气经过过滤去除其中夹带的固体产品颗粒，其中的 CO、H<sub>2</sub> 和有机物在下游的氧化器中被氧化为 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O，所以从烟囱中排除的尾气主要包括，H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub>，根据待废物种类的不同，尾气中还可能包括 N<sub>2</sub> 和其他物质。

### 3. 固体矿物产品

在待处理废物中加入矿化黏土作为添加剂可以形成抗浸出的最终固体产品。在裂解反应器中的典型

反应如下:



矿化黏土与碱(Na, K, Li 和 Cs)形成碱性铝硅酸盐(NAS)矿物。废物中的卤素(Cl, F, Br 和 I)硫酸盐和磷酸盐结合在固体产品中形成 NAS 矿物的结构。NAS 矿物也给放射性核素和不同的有害物质提供了母岩。NAS 矿物是铝硅酸盐矿物的总称。如方钠石有类似笼子的四面体结构形式。黝方石是另外一种似长石, 是  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  与方钠石结构相结合。由于  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  被结合在方钠石结构中, 因此这些物质不会从固体产品中浸出。在方钠石和黝方石的结构中保留了阴离子和放射性核素, 与硅铝酸四面体和碱(Na, K, Cs, or Li)以离子键的形式结合。霞石是六角形结构的似长石。霞石的环形结构的铝硅酸在框架中形成空穴。根据空穴的大小, 可以容纳 Cs, K 和 Ca 或者 Na。在自然界中, 霞石结构也可以容纳 Fe, Ti 和 Mg。

#### 4. THOR<sup>®</sup>工艺处理放射性废树脂的优势

THOR<sup>®</sup>工艺处理的优点包括:

##### 1) 高减容比

根据运行经验, THOR<sup>®</sup>工艺处理阴离子树脂的减容比超过 30, 严重污染的阳离子树脂减容比约为 3, 平均的减容比为 5~10。

THOR<sup>®</sup>工艺的最大减容限制因素是(a) 废物中的无机物含量、(b) 矿物添加剂的量、(c) 添加煤的灰分。高含固量的待处理废物或者高浓度的无机物将导致减容比的降低。

##### 2) 环境友好的尾气排放

尾气中主要包括  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$ , 不会对空气造成污染。

##### 3) 稳定可靠的固体产物

固体颗粒中包含了大部分的放射性核素, 且浸出率很低, 最终产物性质稳定, 其中无有机物, 适合直接进行处置; 比典型核废物玻璃固化工艺产物耐久 10~100 倍。

##### 4) 无液体二次废物

水都以水蒸气的形式通过烟囱排入大气, 整个工艺过程中不产生液体废物。

#### 5. 结束语

放射性废树脂的处理是迄今尚未圆满解决的问题, 是放射性废物管理中的一个难点。THOR<sup>®</sup>工艺处理放射性废物在国外已经成功运行了 10 多年, 该工艺克服了传统方法的弊端, 解决了放射性核素浸出和对环境造成二次污染的问题, 并实现了废物较高的减容比, 是处理放射性废树脂处理的比较有竞争力的解决方案。

#### 参考文献 (References)

- [1] 成娟, 李全伟 (2012) 放射性废树脂氧化处理技术. *同位素*, 2, 124-128.
- [2] 郭志敏 (2007) 放射性固体废物处理技术. 原子能出版社, 北京.

- 
- [3] 陈斌 (2010) 核电厂低中放废树脂处理工艺. *辐射防护通讯*, **1**, 13-16.
- [4] 罗上庚 (2007) 放射性废物处理与处置. 中国环境科学出版社, 北京.
- [5] Brad Mason, J. and Foster, A.L. (2011) THOR<sup>®</sup> steam reforming technology for the treatment of complex and problematic. *Proceedings of the ASME 2011 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management ICEM2011*, Reims, 25-29 September 2011.
- [6] Brad Mason, J. and Myers, C.A. (2010) THOR<sup>®</sup> steam reforming technology for the treatment of ion exchange resins and more complex wastes such as fuel reprocessing wastes. *International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management*, 20101003-07, Tsukuba (JP).