

# Experimental Study on Treatment Equipment of Over-Standard Radioactive Laundry Wastewater

Ruoxia Ma

SPIC Yuanda Environmental Protection Co. Ltd., Chongqing  
Email: 124555005@qq.com

Received: Jul. 26<sup>th</sup>, 2020; accepted: Aug. 13<sup>th</sup>, 2020; published: Aug. 20<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

The radioactive laundry wastewater is the main liquid effluent from the nuclear power plant, and the radioactivity level is very low. Haiyang Nuclear Power Plant uses non thermal treatment technology, using inorganic ion exchanger zeolite as adsorption and exchange material to remove radionuclide from this kind of water. In this paper, a 168-hour verification test was carried out before the equipment was shipped to the Haiyang Nuclear Power Plant, which proved that the process design of the equipment was reasonable, the capacity and index of the equipment met the design requirements.

## Keywords

Laundry Wastewater, Radioactivity, Haiyang Nuclear Power Plant, Test

---

# 超标放射性洗衣废水的处理装置及其试验研究

马若霞

国家电投集团远达环保工程有限公司, 重庆  
Email: 124555005@qq.com

收稿日期: 2020年7月26日; 录用日期: 2020年8月13日; 发布日期: 2020年8月20日

---

## 摘要

放射性洗衣废水是核电站中主要的液态流出物, 其放射性水平很低。山东海阳核电站采用非热能处理技术, 使用了无机离子交换剂-沸石作为吸附和交换材料, 去除水中的放射性核素。本文介绍了在超标放

射性洗衣废水处理装置运至海阳核电站前的168小时验证试验研究,证明了该装置工艺设计合理,设备处理能力和指标达到了设计要求。

## 关键词

洗衣废水,放射性,海阳核电站,试验

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 核电站洗衣废水概述

核电站设置的专用洗衣房用于在运行和检修期间对工作人员使用的衣物进行洗涤去污,产生的洗衣废水经过检测合格后,通过废水监测排放槽监测排放。

洗衣废水的产量很大,是核电站的主要液态流出物。一般情况下,洗衣废水的放射性活度浓度水平很低,但其成份复杂,主要是阴离子表面活性剂、螯合剂、油污、悬浮颗粒和毛发等,水质的成份变化也比较大,在电厂检修期间水中的污染物含量大幅度增加[1][2]。

通过对在役核电站运行情况的调研,洗衣废水中一般含有以下核素: Cs-137、Cs-134、Sr-89、Mn-54、Co-60、Co-58、Fe-59 和微量的 I-131、Ag-110 等。洗衣废水中核素的存在形态多数为离子状态,也有一部分以胶体形式存在[3]。

在 M310 核电站中,洗衣废水一般存储于暂存装置内,检测达到排放标准后直接排放,若存在超标情况,则进入放射性废液处理装置处理,一般的处理方法采用蒸发法。蒸发方法具有去污系数高、适应各种放射性废液的优点,但蒸发设备占地面积大、运行费用高、系统复杂,对于放射性浓度很低的洗衣废水,其经济性比较差。

## 2. 超标放射性洗衣废水的处理装置

### 2.1. 处理工艺的选择[4]-[10]

山东海阳核电站中,放射性废液处理装置采用的是离子交换法,使用有机离子交换树脂对放射性废液进行净化处理。有机离子交换树脂对废水的去污系数较高,但不适合处理杂质含量高的洗衣废水,且处理成本较高。

为应对放射性洗衣废水可能超标的情况,山东海阳核电站中设置了超标洗衣废水处理装置。鉴于超标洗衣废水中的放射性核素浓度很低,且其中的杂质如表面活性剂等较多,选用无机离子交换吸附剂沸石作为滤料,去除废水中的离子状态核素。为避免微小颗粒型态与非离子表面活性剂等有机物形态的杂质易包覆沸石,堵塞交换通道,毒化及降低沸石交换能力,消除洗衣过程产生的悬浮物及洗衣液中合成洗涤剂有机大分子对沸石的毒害作用,在沸石交换单元前增设二级活性炭过滤器,以去除洗衣废水中的悬浮物及有机物,降低沸石的更换频率。

### 2.2. 处理装置

超标放射性洗衣废水处理装置的设计处理能力 1.5 m<sup>3</sup>/h。处理单元主要包括:袋式过滤器,一级活性炭过滤器、二级活性炭过滤器、沸石过滤器及相应的管道阀门等设备。

### 1) 袋式过滤

袋式过滤器是初级过滤装置。袋式过滤器内部由冲孔板制作的网篮支撑着液体过滤袋，液体由进水口流入，经液体过滤袋过滤后流出，杂质则被拦截在液体过滤袋中，液体过滤袋可更换或清洗，更换简单方便。设备结构紧凑且过滤精度高，单位过滤面积的处理流量较大，过滤阻力较小，可有效去除洗衣废液中悬浮物和大颗粒杂质，达到良好的初级过滤的效果。

### 2) 活性炭过滤器

设置一级活性炭过滤器和二级活性炭过滤器，活性炭过滤器主要以活性炭纤维为核心过滤介质。利用活性炭特有的吸附能力去除废水中的表面活性剂及小分子有机物，同时对水中悬浮物进行一部分的截留。活性炭的强吸附性能与它的孔隙结构和巨大的比表面积有关。

### 3) 沸石过滤器

沸石是一种多孔状结构的无机非金属矿石，主要成分为铝硅酸盐，具有良好的离子交换特性，是一种性能优良的离子交换吸附剂，其对低放废液中的放射性核素离子铯和锶有较好的去除效果[4]。

处理流程见图 1：

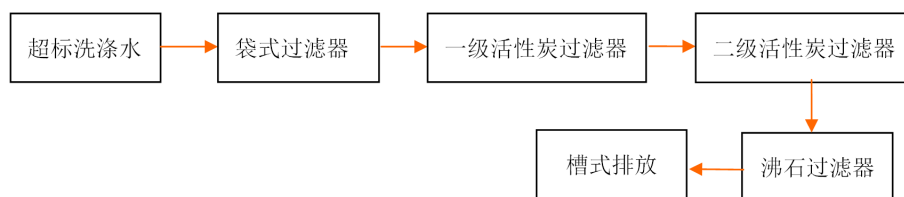


Figure 1. Flow chart of over-standard radioactive laundry wastewater treatment plant

图 1. 超标放射性洗衣废水处理装置流程图

废水依次经过袋式过滤器、一级活性炭过滤器、二级活性炭过滤器和沸石过滤器进行处理。装置具有自动控制功能，可以实现自动启动、排放等过程的自动化。废水处理完毕后将自动停止运行。装置启动时需排放装置设备内部的空气，通过排气管排放。

## 3. 试验研究

在放射性超标洗衣废水处理装置运至海阳核电站前，对装置进行了 168 h 验证试验。对装置的考核指标是：对模拟废水中的 Fe、Co 及 Cs 等 3 项指标的去污系统(DF 值)  $\geq 4$ 。

### 3.1. 试验场地准备

试验场地占地面积约 50 平方米。为装置运行配备了废水配制、存储、输送等及试验必备的设施。所需的水、电接口完备，具备供水供电的基本条件。

### 3.2. 装置安装和水压试验

按照设计图纸，安装装置的各个处理单元、电气、仪表、阀门、管道等。

装置水压试验压力为 1.25 MPa。装置水压试验通过水压泵进行，保持 10 分钟进行全面检查，稳压 1.25 MPa 10 分钟，压力降不大于 0.02 MPa 为合格。

### 3.3. 模拟废水配制及供料设施

为开展连续运行流程试验，根据设计的装置处理能力及试验周期(168 小时)，在装置前端配套设置了模拟废水配制及供料装置。该装置包括配水槽、模拟废水输送泵及必要的管路阀门。

配水槽：2 个，单槽配水体积为 11.2 m<sup>3</sup>，连续供水工作时间约为 7.5 h。

模拟废水输送泵：2 台，一用一备，流量为 1.0~3.0 m<sup>3</sup>/h，扬程为 4.5~5.5 m。进口端连接配水槽出口，出口端连接袋式过滤器进口。

模拟废水中各项指标浓度见表 1：

**Table 1.** Concentration of various indexes in simulated wastewater  
**表 1.** 模拟废水中各项指标浓度

序号	指标	单位	浓度值
1	SS	mg/L	160
2	TOC	mg/L	80
3	Fe	ug/L	800
4	Co	ug/L	800
5	Cs	ug/L	1600

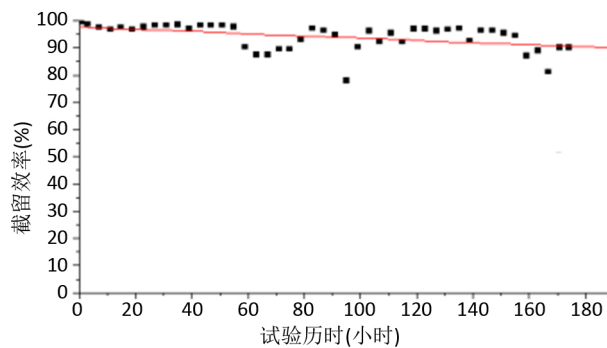
取样口依次为配水槽、袋式过滤器出口、一级活性炭过滤器出口、二级活性炭过滤器出口、沸石过滤器出口。每批次样品(即配制 1 配水槽废水)取样 1 次，取样口每 4 小时取样 1 次；每个取样部位所取样品均检测 SS、TOC、Fe、Co 及 Cs 等 5 项指标等浓度值。

### 3.4. 试验结果及分析

#### 3.4.1. 总悬浮物固体 SS 分析

截留效率为模拟废水 SS 浓度减去装置出口 SS 浓度的差值与模拟废水 SS 浓度比值的百分数。

试验之初，装置的 SS 的截留效率较高，达到 99.4%，随着试验的进行，截留效率呈下降趋势，期间有所波动，但总体保持在 78%以上(如图 2)。经过装置各单元处理后，SS 浓度均有所下降，袋式过滤器、一级活性炭过滤器、二级活性炭过滤器对废水中的 SS 均有明显的去除效果，沸石过滤器对废水中的 SS 去除效果不太明显。



**Figure 2.** Interception efficiency of SS by the device  
**图 2.** 装置对 SS 的截留效率

#### 3.4.2. 总有机碳 TOC 分析

截留效率为模拟废水 TOC 浓度减去装置出口 TOC 浓度的差值与模拟废水 TOC 浓度比值的百分数。

装置对 TOC 的吸附效率较之对 SS 的去除效率变化较大，试验之初，装置的 TOC 的吸附效率较高，达到 97.9%，随着试验的进行，吸附效率呈下降趋势，期间有所波动，但总体保持在 56%以上(如图 3)。经过各单元处理后，TOC 浓度均有所下降，一、二级活性炭过滤器对废水中的 TOC 均有明显的去除效

果, 袋式过滤器与沸石过滤器对废水中 TOC 去除效果较低。

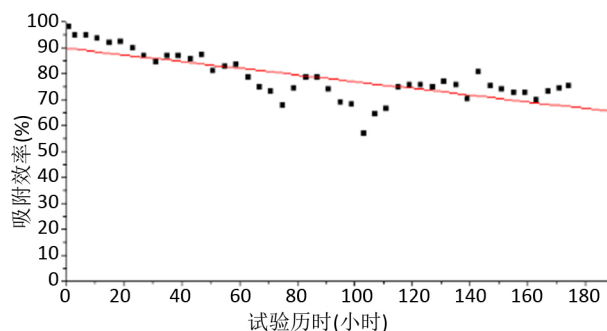


Figure 3. Adsorption efficiency of TOC by the device

图 3. 装置对 TOC 的吸附效率

### 3.4.3. 装置对核素的去污系数(DF 值)分析

各处理单元 DF 值为该处理单元进出口所取样品浓度的比值; 装置 DF 值为配水槽所取样品浓度与装置出口(即沸石过滤器出口)所取样品浓度的比值。

#### 1) 装置对 Fe 的去污系数(DF 值)

装置对 Fe 的 DF 值随试验时间呈降低的趋势, 平均为 16.94。经过各单元处理后, Fe 浓度均有所下降, 一级活性炭过滤器对废水中的 Fe 有明显的去除效果, 袋式过滤器、二级活性炭过滤器及沸石过滤器对废水中 Fe 去除效果相对较低。系统连续运行 100 小时后, 系统去污系数 DF 为 3.68, 低于 DF 值  $\geq 4$  的要求(如图 4)。

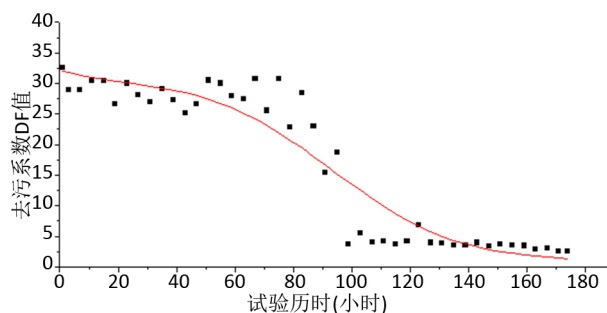


Figure 4. DF of Fe

图 4. 装置对 Fe 的 DF

#### 2) 装置对 Co 的去污系数 DF 值

装置对 Co 的去污系数 DF 值也呈随试验时间而降低的趋势, 平均为 42.72。经过各单元处理后, Co 浓度均有所下降, 一级活性炭过滤器对废水中的 Co 有明显的去除效果, 袋式过滤器、二级活性炭过滤器对废水中 Co 去除效果相对较低, 沸石过滤器对废水中 Co 去除效果最低。系统连续运行 128 小时后, 系统去污系数 DF 为 3.73, 低于 DF  $\geq 4$  的要求(如图 5)。

#### 3) 装置对 Cs 的去污系数 DF 值

装置对 Cs 的 DF 值随试验时间下降的趋势尤为明显, 去污系数 DF 平均值为 9.58。经过各单元处理后, Cs 浓度有所下降, 沸石过滤器对废水中 Cs 去除有很明显的去除效果, 一、二级活性炭过滤器对废水中 Cs 去除效果相对较低, 袋式过滤器对废水中 Cs 浓度几乎没有影响。系统连续运行 104 小时后, 系统去污系数 DF 为 3.52, 低于 DF  $\geq 4$  的要求(如图 6)。

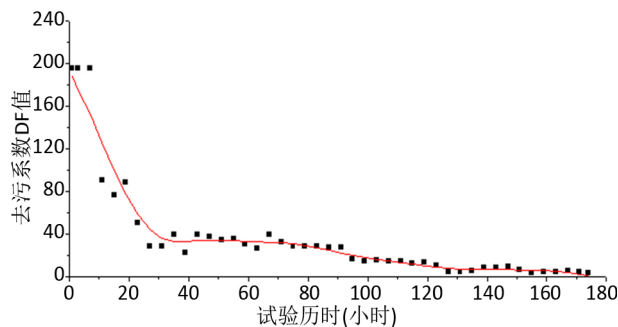


Figure 5. DF of Co  
图 5. 装置对 Co 的 DF

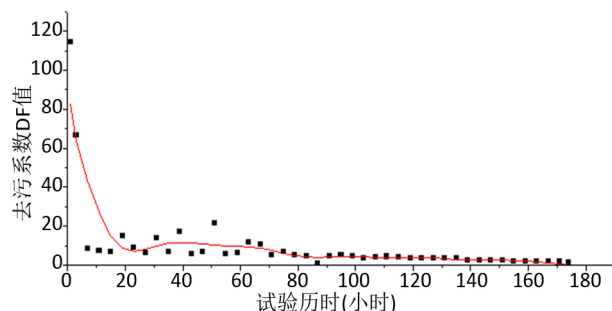


Figure 6. DF of Cs  
图 6. 装置对 Cs 的 DF

试验期间废水平均流量约  $1.45 \text{ m}^3/\text{h}$ ，系统连续稳定运行约 100 小时，系统对 Fe、Co、Cs 三种核素的去污系数 DF 值  $> 4$  的要求，说明了该装置工艺设计合理，设备处理能力达到了设计要求。

#### 4. 结束语

本装置采用非热能处理技术，运行条件简单，工艺操作简便。采用的介质为无机材料，廉价易得，物理化学稳定性好，产生的二次废物可以直接装桶进行处置，显著降低了处理和处置成本，具有较好的社会环保效益和显著的经济效益。

目前该装置已经运至山东海阳核电站，运行稳定可靠，各项指标满足设计要求。

#### 基金项目

国家重点研发计划: 核电站放射性泄露区高浓度事故废液处理技术研究(课题编号:2016YFC1402506)。

#### 参考文献

- [1] 倪依雨, 伊成龙, 王鑫, 等. 光电氧化处理技术在核电站洗衣废水处理中的应用[J]. 广东化工, 2018, 45(3): 67-69.
- [2] 华伟, 李斗, 任力, 等. AP1000 核电站放射性洗衣废水处理技术中试研究[J]. 水处理技术, 2016, 42(9): 110-120.
- [3] 马若霞. 超标放射性洗衣废水处理工艺方案[J]. 北方环境, 2012, 27(5): 126-127.
- [4] 方祥洪, 马若霞, 杨彬. 放射性废水的离子交换树脂处理性能研究[J]. 广东化工, 2016, 43(14): 122.
- [5] 柳丹, 刘杰安. 离子交换树脂处理核电厂废液模拟试验研究[J]. 给水排水, 2012(增刊): 248-251.
- [6] 马鸿宾, 魏新渝, 熊小伟, 等. 离子交换技术去除核电厂放射性废液中痕量核素研究进展[J]. 水处理技术, 2016(1): 7-11, 19.
- [7] 韩非, 顾平, 张光辉. 去除放射性废水中铯的研究进展[J]. 工业水处理, 2012(1): 10-14.

- [8] 杨洋. 浅谈 AP1000 核电厂放射性废物处理[J]. 核电运行与维护, 2006(3).
- [9] 靳海睿. 三门核电站放射性废物处理工艺[J]. 辐射防护通讯, 2015(2): 1-6.
- [10] 王道全. 海阳核电厂离堆放射性废物处理技术介绍及应用分析[J]. 科技创新与应用, 2013(5): 130.