

The Liquid Radioactive Wastes' Collection and Treatment of Nuclear Power Plant in China

Ruoxia Ma*, Xianghong Fang, Bin Yang, Li Ren, Wei Hua

CPI Yuanda Environmental-Protection Engineering Co., Ltd., Chongqing
Email: ruoxia.ma@yuandaep.com

Received: Jun. 16th, 2015; accepted: Jul. 4th, 2015; published: Jul. 7th, 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

In China, radioactive liquid waste from the nuclear power plant is sorted, collected and treated. The liquid waste is collected to the different tank and stored according to the different radioactivity and composition. The treatment methods include filtration, evaporation and ion exchange. This article gives typical collection and treatment process for radioactive liquid waste from the representative nuclear power plant in China. This has prevalent meaning of guidance to research the method of treating radioactive liquid waste.

Keywords

Radioactive Liquid Waste, Separate Collection, Process Technology

我国核电站放射性废液的收集和处理

马若霞*, 方祥洪, 杨 彬, 任 力, 华 伟

中电投远达环保工程有限公司, 重庆
Email: ruoxia.ma@yuandaep.com

收稿日期: 2015年6月16日; 录用日期: 2015年7月4日; 发布日期: 2015年7月7日

*通讯作者。

摘要

我国核电站对放射性液体废物采用分类收集和处理的方​​式。根据不同放射性浓度和成分，将废液分别收集至相应的贮存箱罐中。采用的处理方法一般为过滤、蒸发和离子交换。本文介绍了我国主要核电站对放射性废液的收集和处理的典型工艺，对于进一步研究放射性废液的处理工艺和方法具有指导意义。

关键词

放射性废液，分类收集，处理工艺

1. 核电站放射性废液的主要来源

核电站放射性废液的主要来源包括：化学废液、工艺废液、地面排水、洗涤废水、去污废液和其他废液。

我国已运营和正在建设的核电站所采用的核电技术不尽相同，根据各个核电站的具体特点，其放射性废液的收集和处理工艺也有所差异。但总体来说都遵循分类收集和处理的​​基本原则。本文主要介绍我国主要核电站所采用的放射性废液收集和处理的典型工艺。这些核电站主要包括：已投运的大亚湾核电站、秦山第三核电站、田湾核电站，以及建设中的浙江三门核电站、山东海阳核电站。各核电站的放射性废水处理系统的处理技术指标除满足国家法律法规规定的液体流出物排放标准外，还应遵守各核电站根据具体情况设定的排放限值。

2. 我国主要核电站放射性废液的基本处理工艺

2.1. 大亚湾核电站放射性废液处理系统[1]

大亚湾核电站是我国大陆首座引进技术建设的大型商用核电站，有两台压水堆核电机组。其放射性废液处理系统为两台机组共用，处理核电站正常运行及预期事故中产生的放射性废液。根据废液的基本特性，处理工艺设计采用过滤、蒸发和除盐。具体处理方法的分类见表 1。

2.1.1. 废液收集

根据废液的来源、化学物含量及放射性不同，将废液分为：

- 工艺排水：化学物质含量低的放射性废液。
- 化学排水：化学物质含量高的放射性废液。
- 地面排水：一般是化学成分不定的低放射性废液。

根据废液的分类，在废液处理系统中设置了三种贮槽，即工艺排水接收槽、化学排水接收槽和地面排水接收槽。此外，还设置了两台备用废液接收槽，当处理装置不可用时，备用废液接收槽可以接收来自工艺排水接收槽、地面排水接收槽及化学排水接收槽的废液。备用废液接收槽也可以接收其他系统需要再处理的废液。

2.1.2. 废液处理

各个接收槽中的废液在处理之前，首先通过取样对其放射性浓度和物理化学特性进行检测。根据检测结果，确定废液的具体处理方法。系统设有中和站与化学废水接收槽、地面排水接收槽及废液接收槽相连，中和站可以调节各接收槽中液体的 pH 值，使其适合于蒸发处理或者直接排放。

Table 1. Waste water treatment method classification

表 1. 废液处理方法分类

化学组分含量	低放废液($\leq 1.85 \times 10^7$ Bq/m ³)	高放废液($> 1.85 \times 10^7$ Bq/m ³)
低	过滤	除盐
高	过滤	蒸发

工艺排水根据其放射性水平和化学物质成分不同, 采用两种处理方式: 当其化学物质含量较低时, 可以采用除盐处理; 当其化学物质含量高时, 采用蒸发的处理方式。

化学排水一般进行蒸发处理, 但当化学排水的放射性浓度低于排放限值时, 可以只经过过滤后即排放。

地面排水一般经过过滤后排放。如果放射性浓度高, 则进行蒸发处理。

备用废液接收槽所接收废液的成分比较复杂, 一般采用蒸发处理, 但当废液的放射性浓度低于排放限值时, 也可以过滤后排放。

2.2. 秦山第三核电站放射性废液处理系统[2]

秦山第三核电站是我国首座商用重水堆核电站, 它采用加拿大坎杜重水堆核电技术。其放射性废液处理系统的设计比较新颖、独特, 能够大大减少二次固体废物的产生量, 为电站节约了废物贮存场地和处理费用。

2.2.1. 废液收集

系统采用低放和中、高放废液分别收集, 根据来源和放射性活度浓度的大小, 直接排到相应的贮存箱内贮存, 以使其中的短寿命放射性核素尽快衰变。共有 5 个废液贮存箱, 其中 2 个贮存箱用来接收中、高放废液, 3 个贮存箱用来接收低放废液。

2.2.2. 废液处理

当贮存箱内的废液液位达到一定高度且短寿命放射性核素得以充分衰变后, 启动废液贮存箱循环泵, 连续运转 1 小时, 使贮存箱内的废液均匀混合。然后对箱中的废液取样分析, 如废液中各项指标符合排放标准, 则此箱中的废液直接排放。

中放废液和取样分析后不符合排放标准的低放废液, 必须经过放射性净化回路进行净化去污处理。放射性净化回路的工艺流程见图 1。

运行过程中, 当过滤器进出口压差过高时, 说明过滤器被堵塞, 需要及时更换滤芯; 当样品分析发现树脂失效时, 则需要更换树脂, 最终净化效果和循环次数通过取样分析确定。失效的过滤器芯和树脂作为固体放射性废物封闭储存。

2.3. 田湾核电站放射性废液处理系统[3]

田湾核电站是“九五”期间开工建设重点核电工程之一, 是中俄两国政府协议合作的大型核电项目。田湾核电站采用的是俄式百万千瓦级压水堆核电技术。

2.3.1. 废液收集

田湾核电站的废液收集系统分布在反应堆厂房、安全厂房、辅助厂房和服务厂房内, 分别收集各厂房产生的含硼废液和不含硼废液。其中含硼废液被收集到专门的硼水贮存箱以便进行硼回收; 实验室高放废水、系统和设备去污废水、离子交换树脂的冲洗水和再生废液、反应堆厂房内不含硼的各种废液以

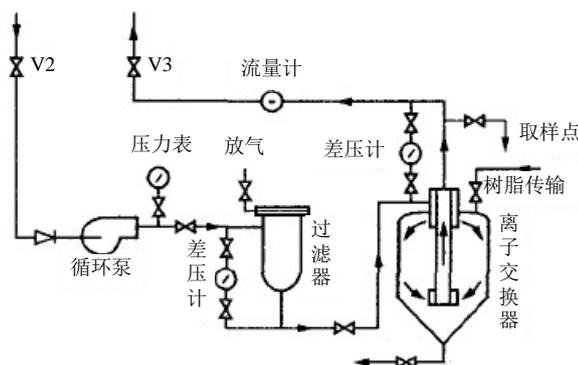


Figure 1. The diagram of radioactivity purification loop

图 1. 放射性净化回路流程图

及失去回收价值的含硼水直接进入放射性废液接收槽中，等待进一步处理；其他厂房的不含硼的地板冲洗水、洗浴废水(包括特种洗衣房废水、卫生间洗手盆排水和人体去污淋浴水等)以及低放射性的化学实验室废液等，则收集到 3 个监测槽中，根据其放射性浓度的大小，或直接排放或转入放射性废液接收槽中等待处理。

2.3.2. 废液处理

田湾核电站的放射性废液处理系统由废液预处理、废液蒸发浓缩、二次蒸汽冷凝液净化和监测三部分组成。汇集到废液接收槽中的地板冲洗水等，含有大量的泥沙等杂质，为去除这些杂质，需要对废液进行预处理，使废液中较重的杂质留在预处理装置中，液体部分进入废液贮槽中，通过添加化学试剂将废液的化学状态调整到规定范围内。而后废液进入自然循环式蒸发器中处理。二次蒸汽冷凝液经过一套阳、阴离子交换树脂柱进一步净化后排入两个监测槽。监测槽中的液体定期取样，分析各项指标，若放射性活度浓度超出排放标准，则返回废液贮槽，再次进入蒸发流程；若满足复用水的使用要求则复用；其余废液通过两个串联的阳离子交换树脂柱，去除机械杂质后对外排放。其处理工艺流程图见图 2。

2.4. 浙江三门核电站放射性废液处理系统[4]

浙江三门核电站是国务院正式批准实施的首个采用第三代先进压水堆核电技术 AP1000 的国产化依托项目，其液体放射性废物处理系统，对运行期间核岛产生的废液进行收集、除气、储存、监视、稀释、排放，以保证电厂的正常运行；在设备故障或事故工况下，对产生的废液进行回收处理，防止放射性物质的意外排放。

2.4.1. 废液收集

液体放射性废物处理系统主要贮存和处理 4 类放射性废物：

- 反应堆冷却剂系统流出液——来自反应堆冷却剂系统硼化、稀释、一次侧取样系统疏水和设备泄漏和疏水，收集在指定的流出液暂存箱中。
- 地面疏水和其他潜在悬浮固体颗粒杂质含量高的废液——主要包括安全壳地坑收集水和放射性疏排水系统辅助厂房地坑收集水以及放射性固体废物系统的过剩排水，收集在废液暂存箱中。
- 洗涤剂废液——来自附属厂房的洗涤剂废液，含有肥皂水和洗涤剂。直接收集在化学废液箱内。
- 化学废液——放射性化学实验室的地面疏水，数量少，排入化学废液箱内。

2.4.2. 废液处理

对废液进行分类收集后，根据各类废液的特性分别进行处理。主要处理工艺为过滤和离子交换。系

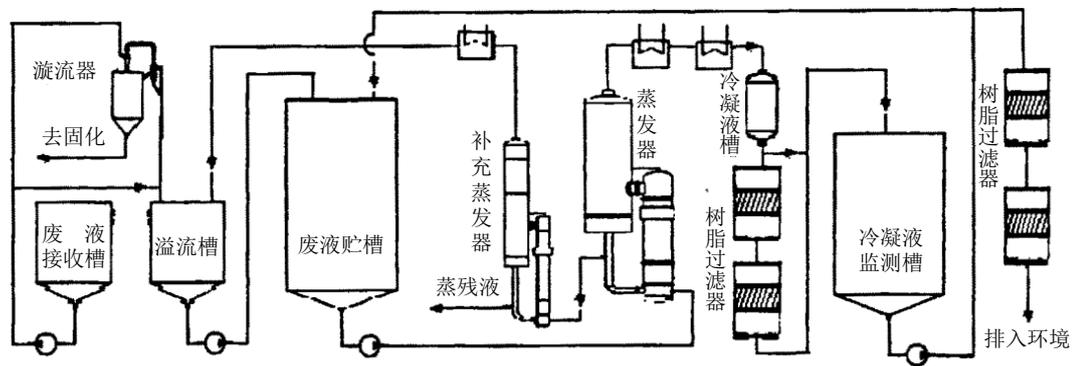


Figure 2. The diagram of radioactive waste water treatment system in Tianwan NPP

图 2. 田湾核电站放射性废水处理工艺流程图

统设置 2 台过滤器，包括废液前过滤器和废液后过滤器；4 台离子交换柱。正常运行时，4 个离子交换柱的任何一个或者几个可以被手动旁通，操作人员根据废液特性的不同选择不同的离子交换形式。

2.5. 山东海阳核电站移动式废液处理装置和洗衣房超标废水处理系统

山东海阳核电站与浙江三门核电站一样，采用 AP1000 核电技术。在多机组共用的厂址废物处理设施中，配置了 3 台移动式废液处理装置，分别用来处理来自于核岛的化学液体废物、燃料包壳破损率为 0.25% 情况下的一回路冷却剂和蒸汽发生器管道破裂(SGTR)产生的液体废物，采用化学预处理、深床过滤和离子交换的处理工艺，清除放射性废液中的悬浮颗粒和离子杂质。处理装置可以在核岛的不同机组内转移，以处理不同机组产生的废液，方便灵活。

洗衣房超标废水处理系统使用活性炭 + 沸石过滤器的处理工艺，处理放射性洗衣房产生的超过排放限值的放射性洗衣废水。针对洗衣废水放射性浓度低的特点，采用无机离子交换的处理方法，在保证处理效果的前提下，有效降低了能耗和二次废物的处理难度。

3. 结束语

我国正在运行的核电站中，都是对废液进行分类收集，处理系统大多采用过滤、蒸发、离子交换等处理手段相结合的工艺，处理后的废液满足排放限值要求。但是大多数系统的设置复杂，投资、运行和维护成本高，设备利用率较低。AP1000 机组的废液处理系统采用过滤、离子交换工艺等冷态处理方法处理废液，极大地简化了系统设计，也保证了较高的净化效率。对于化学成分复杂、放射性水平较高的小部分废液，则采用移动式处理设备进行处理，增强了废液处理的灵活性和利用率。

在进行放射性废液处理系统的设计时，应充分借鉴已建核电站的运行经验和教训，在确保系统长期稳定连续运行的同时，使放射性废液的处理和排放满足合理、可行、尽量低的 ALARA 原则。

参考文献 (References)

- [1] 陈济东 (1994) 大亚湾核电站系统及运行. 原子能出版社, 北京, 386-443.
- [2] 魏俊明, 薛俊峰, 俞建明, 姚广云 (2007) 秦山第三核电厂放射性废液处理系统性能改进. *核动力工程*, 5, 84-87.
- [3] 陈良 (2007) 田湾核电站放射性废液处理系统介绍. 2007 年核化工三废处理处置学术交流会, 厦门.
- [4] 顾军等 (2010) AP1000 核电厂系统与设备. 原子能出版社, 山东, 200-202.