

文章编号: 1673- 0062(2010) 01- 0017- 04

核电厂放射性固体废物处理

马宝成^{1, 2}, 邱小平^{*}, 叶永东²

(1. 南华大学 核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001; 2 中国广东核电集团, 广东 深圳 518124)

摘 要: 核电厂在运行和换料大修时, 会产生一些废物. 这些废物中有非放射性的 (废气、废热、化学产物), 也有放射性的 (气体、液体、固体), 为了保护周围环境免受放射性污染, 防止对工作人员和居民过量的放射性辐照, 所有放射性废物在排放到环境和最终处理前, 必须经收集和处理. 本文介绍了核电站放射性三废的来源、分类以及对不同种类废物的不同处理方式.

关键词: 核电站; 压水堆; 三废; 后处理

中图分类号: TL941 **文献标识码:** A

Solid Waste Disposal of Radioactive Nuclear Power Plant

MA Bao-cheng^{1, 2}, QIU Xiao-ping^{*}, YE Yong-dong²

(1 School of Nuclear Science and Technology University of South China Hengyang Hunan 421001, China

2 China Guangdong Nuclear Power Group Shenzhen Guangdong 518124 China)

Abstract Nuclear power station will produce some waste when it is circulating and charging the fuel. This waste is either non-radioactive (waste gas, waste heat, chemistry product), or radioactive (gas, liquid, solid). In order to protect the environment from the radioactive contamination, prevent the excessive atomic irradiation to the staff and residents, all radioactive waste must be collected and processed before letting to the environment and final processes. This article introduces the classification and origin of the from three radioactive wastes nuclear power station, as well as the different types of processing mode to the different wastes.

Key words nuclear power station; water-cooled reactor; three waste; post-processing

据粗略统计, 到 2000 年, 美国放射性废物中积累的 β 放射性约达 7.733×10^{21} Bq. 按饮用水标准 37 Bq/L, 可污染水 $2 \times 10^{14} \text{ m}^3$, 相当现有世界淡水资源 (包括冰川和地下水) 的两倍. 另外, 据 IAEA

(国际原子能机构) 统计^[1], 一座 1 000 MW_e 核电厂运行一年将产生 600 m^3 放射性固体废物. 按此计算, 我国核电厂运行 10 年产生的放射性固体废物将达几万 m^3 , 这是相当可观的数字, 这还不包括

收稿日期: 2009- 11- 30

作者简介: 马宝成 (1979-), 男, 江苏如皋人, 中国广东核电集团工程师, 南华大学核科学技术学院工程硕士研究生. 主要研究方向: 核技术应用. * 通讯作者

我国正在建设和拟建设中的核电站。

可见,控制和贮存固体放射性废物是发展核能源技术的一个及其重要环节,如果固体放射性废物得不到很好的控制,将会给人类的安全带来极大的隐患。

1 核电站固体放射性废物来源

核电站固体放射性废物,主要来源于本电站机组正常运行年度换料大修及预期运行事件中产生的放射性固体废物。它主要由浓缩液、废树脂、废过滤器芯子、检修废物(木材、金属、污土)、通风过滤器等组成。所有这些放射性废物均由固体废物处理系统(TES系统)及其附属设施进行处理。通过对固体放射性废物进行收集、分类、暂存、压缩装桶、装桶固化、和装桶固定,达到对固体放射性废物进行有效包容处理的目的,形成标准固体废物货包,满足国家对固体放射性废物处理的要求。

2 放射性废物分类

为了便于废物的管理和处置,放射性废物必须分类^[2]。根据废物来源,大亚湾核电站两台机组产生的放射性固体废物分为三类:工艺废物、技术废物和其它放射性废物。

2 1 工艺废物

在系统的运行过程产生的废物,这些工艺废物与核电站运行状况有关。当处理气体时来自过滤器和碘捕集器,当处理液体时来自过滤器、浓缩液和离子交换树脂。

浓缩液:当废水比活度超过排放限值,经过滤

仍无法排放或化学杂质含量高,无法用除盐床处理且超过排放限值时,用 TEU 系统蒸发器浓缩处理后剩余的残渣或 TEP 系统回收处理后无法使用的硼酸。

废树脂:核电站的 RCV、TER、PTR、APG、TEU 等系统的树脂在除盐处理回路水的过程中逐渐被杂质离子所饱和,到净化能力明显下降,水质降低,满足不了工艺要求时更换。

水过滤器:经过一段时间的运行,TEU、TER、RCV、PTR、REA、APG 等系统的过滤器滤网逐渐被固体颗粒堵塞,当压差升高或剂量率达到一定值时更换。

通风过滤器:核电站厂房中的通风系统经过一段时间的运行,过滤器芯子被尘埃堵塞压差升高或被损坏,过滤器失效时更换。

淤积物:当控制区内的集水坑,废水收集罐经过较长时间的运行,水中的固体杂物逐渐沉积于地坑或贮罐的底部,若不及时清除,对过滤器和除盐床的正常运行造成很大影响。

2 2 技术废物

技术废物通常仅指可以压缩的废物(乙烯基制品、手套、胶带、纸、吸滤器芯等等)。来自工地的废物中,以体积计,则大部分是这类废物。它们又分为可压缩废物和不可压缩废物,可压缩废物包括塑料布、胶布、吸水纸、报废的工作服、手套、鞋子等。不可压缩的废物包括木箱、木板、报废的零部件、沾污的工具仪表、保温材料、建筑垃圾等。

大亚湾核电站技术废物的分类标准^[3-4]见表 1

表 1 大亚湾核电站技术废物分类标准
Table 1 Classification of technical radwaste in GNPS

名称	分类标准			包装标记
	半衰期	表面的照射量率 $C/(kg \cdot s)$	可否压缩	
$\alpha - \beta$ 可压缩废物	$> 60\text{ d} < 30\text{ a}$	$> 5.16 \times 10^{-9}$	可	红色标记,聚乙烯塑料袋
$\alpha - \beta$ 不可压缩废物	$> 60\text{ d}$	$> 5.16 \times 10^{-10}$	否	蓝色标记,聚乙烯塑料袋
短寿命核素污染废物	$> 60\text{ d}$		否	绿色标记,聚乙烯塑料袋
低水平 $\alpha - \beta$ 不可压缩废物	$> 60\text{ d} < 30\text{ a}$	$< 5.16 \times 10^{-10}$	否	塑料编织袋

2 3 其他废物

其他废物包括与拆除作业相关的废物,起停频繁电站产生的废物,可燃性毒物棒束污染废油,污染溶剂(系统罐或地坑底部的淤泥和实验室及去污过程中所产生的化学溶剂),控制棒、乏燃料等超轴废物。

3 大亚湾核电站固体废物处理设施及工艺流程

3 1 放射性固体废物处理系统(TES系统)简介
TES系统是大亚湾核电站放射性固体废物的处理主系统,它是引用法国 RCC - M、CODAP,

AFNOR 作为本系统的工程设计规则和标准. 其设计是按照 ALARA 原则进行考虑的^[5].

TES 系统按其操作的特点、废物放射性强度和可能造成的污染, 分别布置在核辅助厂房 (NAB) 和废物辅助厂房 (QS) 内. 本系统所有操作都是手动或就地远距离控制操作和电视监控运行^[6]. 除了贮存罐的加热保温系统外, TES 系统不

设置自动控制, 但是, 许多远距离控制的顺序都有联锁. TES 系统由浓缩液及废树脂处理站、过滤器芯装卸系统、装桶站、混合物配料站、最终封盖站和压缩站组成.

3 2 放放射性固体废物处理工艺流程

大亚湾核电站放射性固体废物处理工艺流程见图 1.

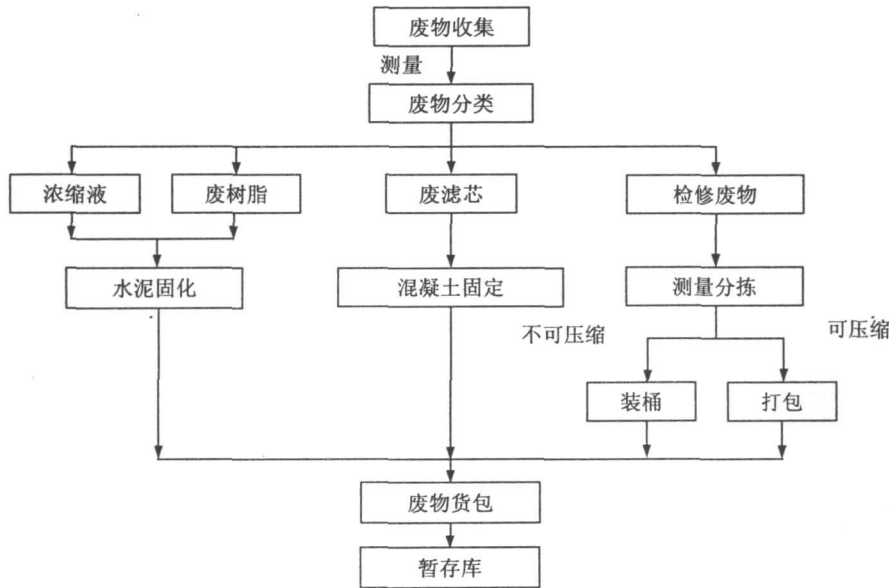


图 1 大亚湾核电站放射性固体废物处理流程

Fig 1 Process of solid radwaste treatment system in GNPS

3 3 放射性固体废物收集点与分拣点布置

正常运行期间, 在放射性废物收集点划分一部分场地, 并铺上塑料布, 设有可压缩废物收集袋、不可压缩废物收集袋、放射性废物收集桶. 非放射性废物收集点设在核辅助厂房某通道内. 如遇到有剂量率 $> 2\text{ mSv/h}$ 的废物, 需电话询问服务处放射性固体废物管理组, 讨论进一步处理方案.

停堆大修期间, 除具备正常运行条件外, 另增加一个 C1 型混凝土桶, 收集剂量率为 $2 \sim 100\text{ mSv/h}$ 的废物. 反应堆厂房 20 m 放置 1 个 C1 型混凝土桶. 也有可能在控制区内离工作场所较近的地方设置多个废物收集点收集低于 2 mSv/h 的废物, 在大修前临时决定.

放射性固体废物分拣点设在废物辅助厂房 (QS 厂房) 内. 分拣都必须在空气隔离间 (SAS) 内完成. 隔离间内有分拣测量仪表、废物架、气源、抽风机等. 进入隔离间必须穿戴好辐射防护用品.

非放射性废物收集点设在核辅助厂房通道内, 必须由辐射防护人员确定为非放射性废物后, 才能运出核辅助厂房, 存放在核辅助厂房非放射性废物收集点处.

4 废物数据分析

大亚湾核电站平均每年的放射性固体废物量 (设计值) 如下:

- 220 只水过滤器芯子;
 - 34 m^3 的废树脂;
 - 50 m^3 的浓缩液 (这是 TEU 系统蒸发处理的最大值, 若按 TEU 系统除盐处理和 RPE 系统的再疏排考虑, 浓缩液仅为 20 m^3);
 - 300 m^3 其他干废物 (开始运行时的最大值).
- 大亚湾核电站历年来实际量 (平均/年) 为:
- 66 只水过滤器芯子;
 - 22 m^3 的废树脂;
 - 11 m^3 浓缩液;
 - 70 m^3 其他干废物.

大亚湾核电站从 1994 年运行以来其放射性固体废物组成如图 2 所示, 由图 2 可以看出浓缩液和技术 (检修) 废物的产量占总产量的 61%, 所占比重最大.

大亚湾核电站从 1994 年运行以来其放射性技术 (检修) 废物成份如图 3 所示, 由图 3 可以看出技

术废物占比最大的是塑料、塑料袋, 占技术废物的 53%. 其次是工作现场使用的吸水纸和纸衣.

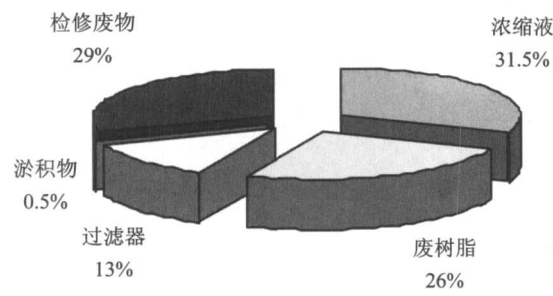


图 2 大亚湾核电站放射性固体废物组成
Fig 2 Composition of solid wastes from reactors in GNPS

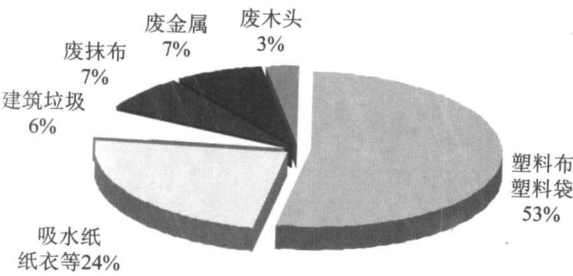


图 3 大亚湾核电站放射性技术废物组成
Fig 3 Composition of technical radwaste in GNPS

从上述分析可以找出工艺废物产量高的根本原因是系统跑、冒、滴、漏, 工艺废水进入化学废水收集系统, 地板废水被污染, 从而引起废水增加; 除盐床漏树脂, 除盐床使用效率下降; 滤芯型号随意改变, 导致更换频繁. 技术废物产量高的根本原因是消耗材料控制不严; 湿废物 (拖布、吸水纸) 增多; 废包装皮带入控制区; 报废的工作服、鞋增多.

5 废物处理管理措施

为了减少废物产量, 采取有效措施, 首先加强员工和承包商的培训, 使大家有废物最小量化的意识^[7], 保证自己的工作尽可能产生少量的废物, 提高操作人员的基本技能和素质, 保证在现在的工艺条件下, 减少浓缩液、废树脂和水过滤器的产生. 其次加强计划管理, 根据公司目标值有计划进行安排和落实, 计划一经排出, 各部门必须严格按照计划执行, 对影响计划的关键工作要及时控制.

1) 加强对放射性废物治理的宣传; 加强对放射性废物固体管理、处理、处置等的科研工作; 管

理层应通过利益代价分析、改进生产工艺, 使废物产生量最少. 严格控制生产过程中不易处理的各种试剂、添加剂、清洗去污剂, 尽可能使废物的组成简单并易于处理.

2) 固体废物的减容和包装技术需要进一步改进. 在放射性固体废物处理系统中增加废物焚烧设备, 它能最大限度地减少固体废物的体积, 降低废物的包装、中间贮存、运输和处置的费用^[7].

3) 组成专门的废物管理机构, 对废物从产生到处置的全过程进行管理和监督, 建立管理跟踪制度和废物产生许可证制度. 实现废物最小量化原则, 首先必须要有最小量化意识, 编写最小量化程序和实施最小量化工艺.

4) 建立废物审计制度, 对废物产生到处置前各个过程进行审计, 使废物的处理费用减至最少.

6 总结

大亚湾核电站始终以安全为目的, 以处置为核心来建立自己的管理系统. 通过执行减少产生、分类收集、净化浓缩、减容固化、严格包装、安全运输、就地暂存、集中处置、控制排放、加强监测的废物管理方针, 安全的处理了自投产以来产生的所有废物, 并使其完全在监控之下. 固体废物产生体积逐年下降, 近三年固废产量的平均值为 182 m³, 已达到法国同类机组的先进水平, 并且未发生一起由于固废处理不当而引发的外泄事件, 为证明核电是清洁的, 保护环境的能源, 为核电站竖立良好的公众形象做出了贡献.

参考文献:

[1] 陈济东. 大亚湾核电站系统及运行 [M]. 北京: 原子能出版社, 1994

[2] 贺禹. 核电站基本安全授权培训教材 [M]. 北京: 原子能出版社, 2004

[3] 黄来喜, 何文新, 陈德淦. 大亚湾核电站放射性固体废物管理 [J]. 辐射防护, 2004 24(Z1): 211- 227.

[4] 施仲齐, 曲静原, 崔永利. 核电厂对环境的放射性污染及其防治 [J]. 辐射防护, 1998 18(4): 241- 261.

[5] 刘兆华. 浅谈放射性废物的处理及处置 [J]. 四川环境 1997, 16(2): 56- 59

[6] 薛大海. 秦山第三核电站放射性固体废物处理实践 [J]. 辐射防护通讯, 2008 28(4): 29- 35

[7] 赵福祥, 陆继根, 蒋云平. 江苏省放射性固体废物污染防治及对策 [J]. 中国辐射卫生, 2006 15(4): 486- 487