

Study on the Application of Interim Store of Polyethylene HIC in Nuclear Power Station

Zhonglin Geng, Xianghong Fang, Bin Li*

CPI Yuanda Environmental-Protection Engineering Co., Ltd., Chongqing
Email: 6233469@qq.com

Received: Jun. 25th, 2015; accepted: Jul. 14th, 2015; published: Jul. 17th, 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

Under a more challengeable situation of radwaste treatment and disposal, high integrated container (HIC drum) has advantages in respect of ALARA, waste minimization, operability, system complexity and cost. In countries with nuclear technology highly developed, such as USA, HIC is widely used and has abundant project references, the complete equipment of which is continuously verified and improved. Likewise in China, since firstly used in Shandong Haiyang nuclear power station, HIC will be subsequently applied in other radwaste treatment and disposal projects, which inevitably brings about the problem of HIC storage. In accordance with the specifications of GB14500-2002 [1] and GB14589-93 [2], storage period of low and intermediate radioactive solid waste shall not be more than 5 years. By combining standards and regulations in China as well as project application of Haiyang nuclear power station, this article states the storage requirements of HIC waste drum generated in nuclear power plant and design considerations of interim store.

Keywords

HIC, Waste Interim Store, Design

聚乙烯高整体性容器(HIC)暂存库在核电站中的应用研究

耿忠林, 方祥洪, 李 斌*

中电投远达环保工程有限公司, 重庆

*通讯作者。

Email: *6233469@qq.com

收稿日期: 2015年6月25日; 录用日期: 2015年7月14日; 发布日期: 2015年7月17日

摘要

在放射性废物处理处置问题愈发突出的情况下, 聚乙烯高整体性容器(HIC桶)在ALARA (合理可行尽可能低)、废物最小化、可操作性、系统复杂性及成本等各方面具有优势, HIC桶在美国等核技术发达国家广泛使用, 具备良好的工程应用业绩, 拥有被不断验证和改进的成熟配套设备, 同样, 在我国从山东海阳核电站开始, HIC桶将会陆续应用在放射性废物处理和处置上, 这不可避免的会涉及HIC桶的贮存问题, 根据GB14500-2002 [1]和GB14589-93 [2]的规定, 低、中放固体废物的贮存期一般不宜超过5年。本文结合国内的标准规范和海阳核电厂的工程应用, 阐述了HIC废物桶在核电厂产生后的贮存要求和暂存库的设计考虑。

关键词

高整体性容器, 废物暂存库, 设计

1. 综述

随着核电站的建成投产, 将为经济发展提供充足的能源保证, 但核电厂在生产出电能时, 不可避免产生不同活度和类别的放射性废物, 这种对地球生物圈造成很大潜在危害的放射性废物由于理化性能的特殊性, 需要按照国家标准和规范要求进行安全、可靠的处理处置, 尽量减少废物处置对环境可能造成的不利影响。在废物处理过程中, 需要暂存经处理、整备后的废物包, 满足国家有关放射性废物管理的要求, 以保护人类自身和人类赖以生存的自然环境。

聚乙烯高整体性容器(HIC桶)在ALARA、废物最小化、可操作性、系统复杂性及成本等各方面具有优势, HIC桶在美国等核技术发达国家广泛使用, 具备良好的工程应用业绩, 拥有被不断验证和改进的成熟配套设备, 特别适用于盛装、暂存和处置核电站产生的中、低放射性废树脂和废滤芯。

在国外, 选用HIC桶来处理 and 处置放射性废物的应用越来越多, 同样, 在我国从山东海阳核电站开始, HIC桶将会陆续应用在放射性废物处理和处置上, HIC桶的相关制造标准也在制定中, 深入研究和探讨HIC桶在核电厂的存储和转运方式是迫在眉睫的课题。

2. 聚乙烯 HIC 的特点

2.1. 聚乙烯 HIC 的使用情况

1981年7月3日交付第一个HIC, 用来贮存和处置未经固化的放射性废物(废树脂和过滤介质)。截至1983年容器的用户数达到26个。如此多的用户表明早已存在使用聚乙烯HIC处理废树脂和废过滤器芯的强烈需求。

从1981年7月3日至今, 超过12,000个相同设计的HIC交付使用。另外还有10,000余个不同设计的容器用于其它应用领域(总共超过22,000个在美国、加拿大、墨西哥和韩国)。从第一个HIC交付使用至今, 没有容器失效的报告。美国处理三里岛事件时, 去污产生的废树脂就采用高整体容器来包装($\Phi 1.56\text{ m} \times 2.01\text{ m}$)。三里岛事件时产生的聚乙烯HIC容器经历了长达30余年的考验[3] [4]。

HIC的体积为 $0.23\text{ m}^3 \sim 8.5\text{ m}^3$, 尺寸、内部结构配置和吊具各式各样, 共有上百种不同组合。由于用

户的实际使用的要求不同, 聚乙烯 HIC 型号规格各异, 特殊情况下有特殊要求[5]。表 1 列出了 Duratek 公司生产的部分型号的高密度交联聚乙烯 HIC 的尺寸、容积和净重。图 1 是 PL-8-120 FR 和 PL 14-215 FR 的外观图。

2.2. 聚乙烯 HIC 材料的物化特性[5] [6]

聚乙烯 HIC 的材料为交联聚乙烯。1983 年, CNSI 生产 HIC 的原料为飞利浦化学公司的 Marlex CL-100 中密度交联聚乙烯, 使用滚塑成型工艺将原料制造成 HIC。现在生产 HIC 的原料不再是 Marlex CL-100, 而被称为高密度交联聚乙烯, 可以肯定仍然为交联聚乙烯。表 2 列出了不同时期聚乙烯 HIC 材料的物理特性。

2.3. 聚乙烯 HIC 的性能

HIC 用于处置放射性活度浓度不高于 $350 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$, 自由液体含量小于 1% 的废树脂和废滤芯, 在设计寿期内能保持结构完整性和对废物的包容性, 防止放射性核素对环境造成影响。由于废树脂和废滤芯主要含有两种核素 Cs-137 和 Sr-90, 其半衰期分别为 30 年和 28 年, 因此 HIC 的设计寿命为至少 300 年。

HIC 具有足够的机械强度、化学稳定性(抵御暂存和处置场的外部腐蚀、内容物的内部腐蚀)、热稳定性、抗生物性能、耐辐照、密封性、防水设计和被动排气设计等, 保证其达到 300 年的设计寿命。

Table 1. Dimension, volume and net weight of different types of HIC

表 1. 不同型号 HIC 的尺寸、容积和净重

HIC 尺寸范围为 $0.23 \text{ m}^3 \sim 8.5 \text{ m}^3$, 尺寸、内部结构和吊具各式各样。					
系列	尺寸(cm)	处置体积	内部容积	可用空间	净重 kg
PL6-80	$\Phi 144.78 \times 143.51$	2.36 m^3	2.08 m^3	$1.76 \sim 1.81 \text{ m}^3$	226.795
PL8-120	$\Phi 152.40 \times 186.69$	3.41 m^3	3.05 m^3	$2.80 \sim 2.86 \text{ m}^3$	272.154
PL10-160C	$\Phi 166.37 \times 189.865$	4.13 m^3	3.68 m^3	$3.38 \sim 3.45 \text{ m}^3$	317.513
PL14-170	$\Phi 184.15 \times 181.61$	4.84 m^3	4.26 m^3	$3.91 \sim 3.99 \text{ m}^3$	362.872
PL14-195	$\Phi 187.96 \times 198.12$	5.50 m^3	4.85 m^3	$4.50 \sim 4.59 \text{ m}^3$	408.231
PL14-215	$\Phi 193.04 \times 199.07$	5.83 m^3	5.36 m^3	$4.93 \sim 5.01 \text{ m}^3$	498.949
PL21-300	$\Phi 203.20 \times 274.32$	8.90 m^3	8.07 m^3	$7.48 \sim 7.62 \text{ m}^3$	566.988

Table 2. Physical properties of polyethylene HIC material at different periods

表 2. 不同时期聚乙烯 HIC 材料的物理特性

性质	单位	现在的材料	1983 年的材料 Marlex CL-100
密度(标称值)	g/cm^3	0.941	0.930~0.931
耐环境应力开裂	小时	>1000	>1000
弯曲模量(标称值)	MPa	689.48	689.48
	psi	100,000	100,000
拉伸强度(标称值)	MPa	17.92	17.92
	psi	2600	2600
伸长率(标称值)	%	350	450
维卡特软化温度 (标称值)	$^{\circ}\text{C}$	124	116
	F	255	240
脆化温度(标称值)	$^{\circ}\text{C}$	<-90	<-118
	F	<-130	<-180



Figure 1. PL-8-120 FR and PL 14-215 FR [4]

图 1. PL-8-120 FR 和 PL 14-215 FR [4]

3. 聚乙烯 HIC 暂存库的设计遵循的法规标准及原则

3.1. 遵循的法规标准

GB 14500-2002 《放射性废物管理规定》 [1]

GB14589-93 《核电厂低、中水平放射性固体废物暂时贮存技术规定》 [2]

GB12711-1991 《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》 [7]

GB18871-2002 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 [8]

3.2. 暂存库的设计原则

暂存库的设计在运行方面必须保证贮存期间内废物包装的完好性和废物的可回取性；在辐射安全方面应遵循辐射防护最优化的原则和职业工作人员和公众所受的剂量当量不得超过国家规定的限制，并保持可以合理达到的尽可能低的水平。

对于 HIC 这类容器，在无屏蔽情况下其表面剂量可达 Sv 级，因此在设计 HIC 暂存库时库内需配备可屏蔽转运 HIC 的设备或配备可远程遥控转运的设备。同时应保证转运设备的安全可靠性，制定相应预案。

4. 海阳项目聚乙烯 HIC 暂存库

4.1. 暂存库的功能

海阳项目 HIC 暂存库有以下功能：1) 接收 HIC 屏蔽容器和拖车；2) 将 HIC 屏蔽容器放进 HIC 装卸区；3) 取/放 HIC 屏蔽容器盖螺栓；4) HIC 吊车取/放 HIC 屏蔽容器盖和防撞器；5) 用 12.5T 吊车转运 HIC；6) 将 HIC 放入脱水验证间(表面污染检测、去污或脱水验证，如要求)；7) 将 HIC 放入暂存库存放井。

4.2. 暂存库的设计[9]

暂存库采用地上井式储存方式，共设计 120 个井，可存放 240 个 HIC，贮存井采用混凝土套管形式，每个井直径 $\phi 1754$ mm，深 5.3 m，可叠放 2 个 HIC；井盖采用钢筋混凝土结构，厚度约 800 mm。采用混凝土隔层将 HIC 暂存库隔成 2 层，上层为 HIC 的转运空间，下层为 HIC 的暂存空间，隔层厚度为 800 mm，

即上层按照 AP1000 辐射分区的 2 区进行设计。贮存井设置有通风管路，保持井内负压。在布置上合理的考虑了人员的屏蔽和保护。

暂存库内配有 12.5 T 数控吊车一台,可实现遥控远程准确定位和抓取废物桶,井盖及其他辅助设施,实现废物的进库出库。暂存库布置图详见图 2。

4.3. HIC 的转运及装卸

在正常情况下核岛厂房产生的废树脂或废过滤器芯等废物在核岛侧装入 HIC 中,经脱水处理合格后,在核岛侧装入 HIC 屏蔽容器(CASK), 装有 HIC 的 CASK 运输容器预先放置及固定在专用拖车上, 通过拖车运送至暂存库内。HIC 数控行车利用 HIC 抓具将 CASK 专用抓具(此专用抓具专门负责取 CASK 上部防撞器及吊装 CASK 上下螺栓平台)抓取, 这样就可以利用该抓具完成以下步骤: ① 利用 HIC 暂存库起重机, 采用人工辅助的方式将上下螺栓平台吊装至拖车上, 并将平台梯子移动至平台旁。② 利用 HIC 数控行车, 采用人工辅助的方式将 CASK 防撞器吊至拖车尾部。③ 将上下螺栓平台的台阶吊至平台指定位置。④ 人工将 CASK 盖子的螺栓拧开。⑤ 将 HIC 抓具上的 CASK 专用抓具取掉, 同时, 所有工作人员撤离, 离开 HIC 暂存库。

之后的工序将利用 HIC 抓具进行抓取作业, 步骤如下: ① 用 HIC 抓具(此专用抓具负责对 CASK 盖子的吊运、HIC 的吊运、HIC 井盖的吊运)取 CASK 盖子。② 用 HIC 抓具将 HIC 从 CASK 容器取出。③ 通过 HIC 数控行车的摄像头核实 HIC 上的编号, 是否与送货单上的编号一致。④ 通过厂房内的 HIC 吊车及 HIC 抓具, 将 HIC 送至脱水验证间。⑤ 利用设置在脱水验证间的表面剂量仪对 HIC 进行表面剂量监测。⑥ 将 HIC 置于混凝土堡内, 采用 HIC 抓具缠绕抹布对 HIC 顶表面进行取样。⑦ 取样后送至实验室, 对表面污染进行测量, 如表面污染合格, 则通过 HIC 暂存库起重机转运至 HIC 暂存库内, 放入预先打开的 HIC 暂存井内, 然后通过 HIC 吊车将井盖复位, 封存 HIC; 如表面污染超标, 则需对 HIC 表面污染进行去污, 一般采用 HIC 抓具缠绕抹布的形式对 HIC 进行表面污染去污, 经去污检测表面污染合格后送至 HIC 暂存库井。当 HIC 被送至最终处置场时, 根据需要进行验证脱水。其操作过程为以上过程的逆过程, 通过专用运输车送至处置场进行最终处置。

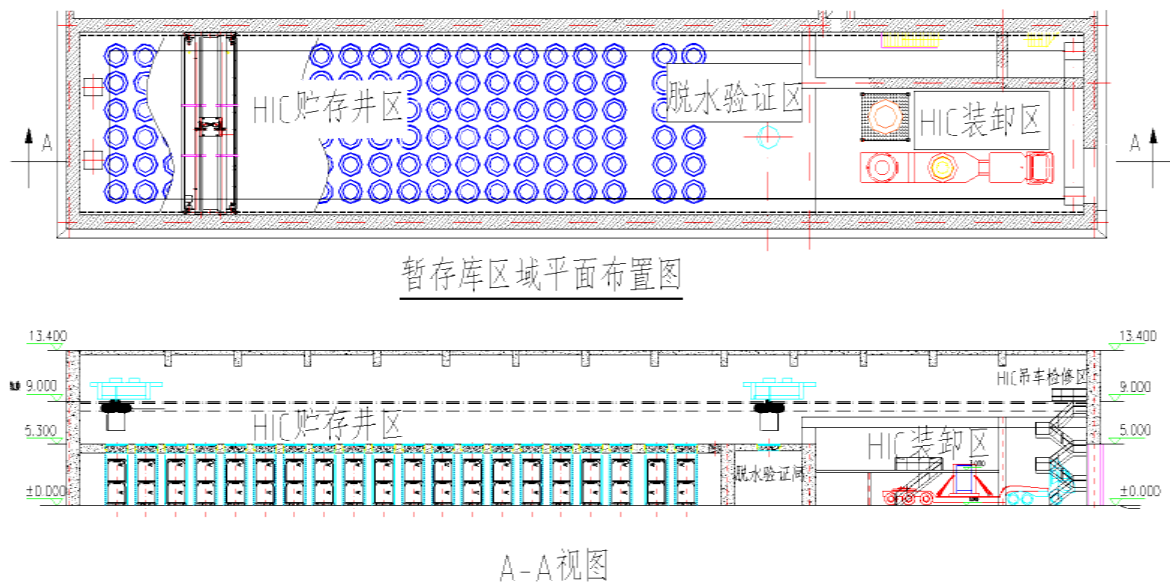


Figure 2. HIC interim store layout [9]

图 2. HIC 暂存库布置图[9]

因 HIC 内装有中等放射性物质，因此这一系统转运及装卸过程均需严格按照操作规程进行操作，同时需注意在 HIC 吊运过程中及当 HIC 井内有贮存物及 HIC 井盖打开状态时，严禁在 HIC 暂存库房顶进行任何人为的活动。

本系统主要设备包括：CASK 转运容器(含附件)，CASK 运行拖车及牵引车，CASK 上下螺栓平台，HIC 吊车(含 HIC 抓具、CASK 帽子抓具)，HIC 暂存井(含井盖)等组成。

5. 结论和建议

随着核电的迅速发展，放射性废物的处理已在全世界范围内引起越来越多的关注。聚乙烯 HIC 作为一种较为成熟的处理和处置废滤芯和废树脂的方式，在 ALARA、废物最小化、可操作性、系统复杂性及成本等各方面具有明显优势，特别是其工艺流程简单，废物最小化明显，特别适用于我国一址多堆的核电厂，本文介绍的暂存库方案，在保证废物包的完好性、可回取性方面有较大优势，在保证工作人员、公众和环境安全方面做到了合理可行尽可能低，符合我国相关废物处理和暂存标准的通用性要求，在工程实践过程中，将对推动安全贮存起到十分积极的作用。

参考文献 (References)

- [1] GB 14500-2002 放射性废物管理规定.
- [2] GB 14589-93 核电厂低、中水平放射性固体废物暂时贮存技术规定.
- [3] Ruffin, Ed. (2011) Energy solution polyethylene high integrity container qualification report.
- [4] Poole, S.D., Ed. (2013) Energy solution polyethylene high integrity container special topics report. HIC 专题报告.
- [5] CNSI 聚乙烯 HIC 型式试验报告.
- [6] US NRC-Nuclear Material (1991) United State Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, Technical Position on Wasteform. 1991.1
- [7] GB12711-1991 低、中水平放射性固体废物包装安全标准.
- [8] GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准.
- [9] 中电投远达环保 (2012) 海阳核电厂址废物处理设施设计文件. 2012.9.