

# Study on Polyethylene High Integrated Container (HIC) Disposal

Zhonglin Geng, Xianghong Fang, Bin Li

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

Received: Jun. 29<sup>th</sup>, 2015; accepted: Jul. 12<sup>th</sup>, 2015; published: Jul. 17<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

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. 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, Disposal, Design

# 聚乙烯高整体性容器(HIC)处置方案研究

耿忠林, 方祥洪, 李 斌

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

收稿日期: 2015年6月29日; 录用日期: 2015年7月12日; 发布日期: 2015年7月17日

\*通讯作者。

## 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。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, 处置, 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。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。

高密度聚乙烯(HDPE)高整体性容器(HIC)作为低放废物处置容器在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,聚乙烯HIC桶在美国已经使用了30年多年,取得了南卡罗莱州健康与环境控制部的认证[1],最初在加拿大,后在墨西哥和韩国使用[2][3],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桶在处置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( $\Phi 1.56\text{ m} \times 2.01\text{ m}$ ) [Holzworth, R. E. et al., Seminar on the management of radioactive waste from nuclear power plants, Karlsruhe, Oct. 5-9, 1981]。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[2]-[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的外视图。

## 2.2. 聚乙烯 HIC 材料的物化特性[1] [5]

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, 在设计寿命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 [6]。

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	$\Phi 144.78 \times 143.51$	$2.36 \text{ m}^3$	$2.08 \text{ m}^3$	$1.76 \sim 1.81 \text{ m}^3$	226.795
PL8-120	$\Phi 152.40 \times 186.69$	$3.41 \text{ m}^3$	$3.05 \text{ m}^3$	$2.80 \sim 2.86 \text{ m}^3$	272.154
PL10-160C	$\Phi 166.37 \times 189.865$	$4.13 \text{ m}^3$	$3.68 \text{ m}^3$	$3.38 \sim 3.45 \text{ m}^3$	317.513
PL14-170	$\Phi 184.15 \times 181.61$	$4.84 \text{ m}^3$	$4.26 \text{ m}^3$	$3.91 \sim 3.99 \text{ m}^3$	362.872
PL14-195	$\Phi 187.96 \times 198.12$	$5.50 \text{ m}^3$	$4.85 \text{ m}^3$	$4.50 \sim 4.59 \text{ m}^3$	408.231
PL14-215	$\Phi 193.04 \times 199.07$	$5.83 \text{ m}^3$	$5.36 \text{ m}^3$	$4.93 \sim 5.01 \text{ m}^3$	498.949
PL21-300	$\Phi 203.20 \times 274.32$	$8.90 \text{ m}^3$	$8.07 \text{ m}^3$	$7.48 \sim 7.62 \text{ m}^3$	566.988

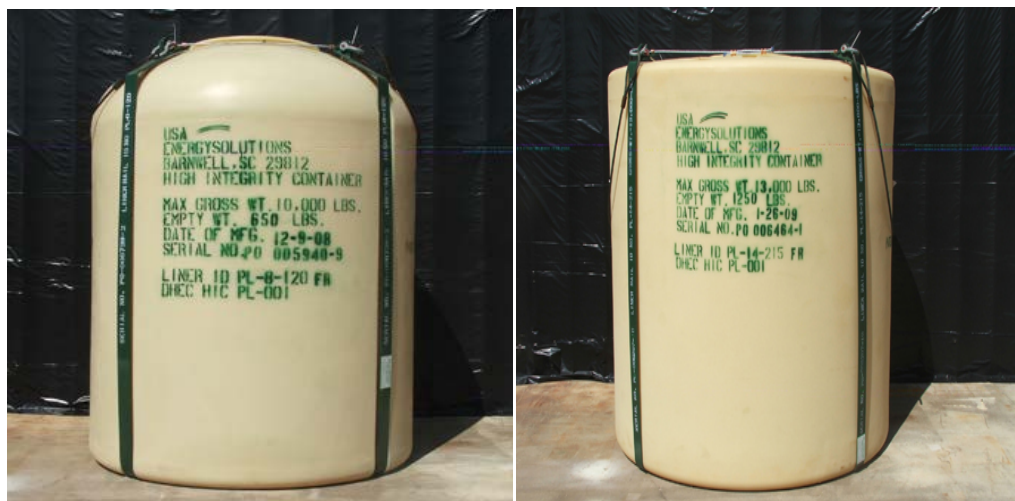


Figure 1. PL-8-120 FR and PL 14-215 FR [4]

图 1. PL-8-120 FR 和 PL 14-215 FR [4]

**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 <sup>3</sup>	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) 5 cm/分钟	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)	°C	124	116
	F	255	240
脆化温度(标称值)	°C	<-90	<-118
	F	<-130	<-180

### 3. 聚乙烯 HIC 处置技术

#### 3.1. 处置考虑因素[6]

在选择处置技术中主要考虑场址、结构、运行及运行后的关闭，以及处置费用。下面介绍了每个方面要考虑的一些因素。

**场址：**在考虑任何一种处置技术时，有众多因素会影响抉择。在选择处置场址时主要考虑的三大因素是地质、水文和地震风险。备选的场址必须是地震不活跃的地方，这样确保存放的容器不因地震发生破裂。地质、地层和土壤将控制地下水流特征，同时厂址水文特征及当地气候都会影响处理技术的选择和处置场所的设计，因为要尽量减小地下水受到影响并且要尽量减少水积聚在处置场中存放的废物周围。不用的处置场设计适用于不同的厂址条件。

**施工方面的考虑：**也必须考虑设施和处置单元的施工，因为现场设计越繁杂，处置费用和安全都会受到影响。复杂处置单元的技术要求用专门的施工设备和方法，并且与采用传统的浅地面处置设计的技术相比费用要高些。某些设计可能需要配备现场批量浇筑混凝土装置，而有些设计可最多就是要求挖掘和运土设备。

**运行方面的考虑：**在选择处置技术时工人安全是另一个考虑因素。好的技术要尽量减少工人受照剂量并要保护公众和环境。搬运有高放射剂量的处置货包要采用某些远距离搬运技术和设备。如果可以，理想的做法是选用不需要大量专用设备就能使工人剂量达到 ALARA 要求的处置技术。

**运行后关闭：**现场运行后封闭维护包括地表水管理和腐蚀控制，要确保处置场的完整性。处置场关闭后有必要进行环境监测，至少要监测地下水评估放射性核素的移动情况。必须要确保任何处置场要对今后可有无意闯入的人员提供保护。在确定处置单元构筑物的厚度、覆盖层厚度时，确保处置场通过各种途径对公众中的个人辐射剂量  $E < 0.25 \text{ mSv/a}$  [7]。

**其他：**在设计处置时应考虑填充物对处置容器的腐蚀和化学影响，二者之间不能有不良反应。应考虑微生物对处置容器、废物、填充物的生物降解特性。应设计安全的排水方案。废物包装体中由于辐射分解、放射性衰变、废物和固化材料之间的化学反应，以及有机物质的分解而产生的气体不应导致处置系统效能的破坏。HIC 内的废树脂等受辐照分解后会产生气体，考虑是否在处置场单元内采用被动通风

设计释放内部压力、并且增加气体收集装置。

### 3.2. 聚乙烯 HIC 处置技术

HIC 处置技术主要包括地表工程堆砌处置、深地质处置、浅地表处置沟和浅地表填埋。表 3 汇总了 HIC 可选用的处置技术以及在这些技术中如何使用 HIC。表中归纳了选用处置技术的重要参数及不同技术之间的比较。

从目前国内监管当局评审结果来看，HIC 基本符合中国标准的基本要求，除 GB-12711-1991 低、中水平放射性固体废物包装安全标准中 7.1 条要求的废物包表面剂量率应小于 2 mSv/hr 外[8]，但是，当将 HIC 放入屏蔽运输容器中时，就符合这一要求。

下面对各种技术作简单介绍。

**地表工程堆砌处置：**处置工程堡在法国、英国、西班牙、捷克等国家有使用，在中国大亚湾也有使用。图 2 是典型的地表工程堆砌处置。地表工程堆砌处置由大的混凝土处置单元组成，废物货包放在这些处置单元内。对于浅地表地下水和地震活动少的厂址首选采用处置工程堡方式进行处置。采用防雨罩可能会使现场的运行变得复杂，并且要求使用较复杂的放置设备，如轨道行车。当废物容器装满后，要对容器进行原地灌浆增加稳定性。在封闭了处置堡后，要有覆盖层保护处置单元并尽量减少雨水渗透。

**深地质处置：**阿根廷、加拿大、芬兰、德国、韩国和瑞典正在采用或正打算采用深地质处置。图 3 是典型的深地质处置。存放室的深度从 50 m~750 m 不等。有几个国家是将核废物放在废弃的矿场中。目前主要采用人工操作的方式，废物容器是有屏蔽的，同时，也有采用无屏蔽的容器、地下机器人操作的方式。

**浅地表处置沟：**图 4 是典型的浅地面处置沟，由挖掘的地下处置单元构成，处置容器放在处置单元中，自由流动砂是最初回填层，然后再加上粘土覆盖。所有的处置沟就在地下水位以上挖掘，处置沟最初关闭后，要有加强覆盖层以尽量减少雨水的渗透。选用这个废物处置方法可能会发生覆盖层沉降，并且在废物包外增加外包装容器以便确保覆盖层沉降时不影响废物包的包容性和完整性。运行较为简单，主要采用移动吊车将外包装和废物容器放进处置沟内。

**Table 3. HIC disposal technology comparison**  
**表 3. HIC 处置技术比较**

参数	地表工程堆砌处置	深地质处置	浅地表处置沟	填埋
HIC 处置	无外包装	无外包装	外包装	外包装
地表水管理	低	低	中等	中等
运行繁杂性	复杂，需建设工程屏障堡、放货物包、灌浆、封闭堡、建覆盖层	复杂，需建存放室、放货物包、密封处置单元，关闭存放室	中等复杂，修处置沟、放外包装和货物包，建覆盖层	简单，修处置单元，放外包装和货物包、覆盖层
工作人员、环境和公众保护	地下水剂量	地下水剂量	地下水剂量	气流剂量
地震风险	中等	中等	低	低
对闯入者的保护	工程屏蔽堡	工程屏蔽堡	外包装、沟、渠覆盖层	外包装、沟、渠覆盖层
运行后关闭维护	低	低	中等	中等
费用	\$\$\$	\$\$\$\$\$\$	\$\$	\$

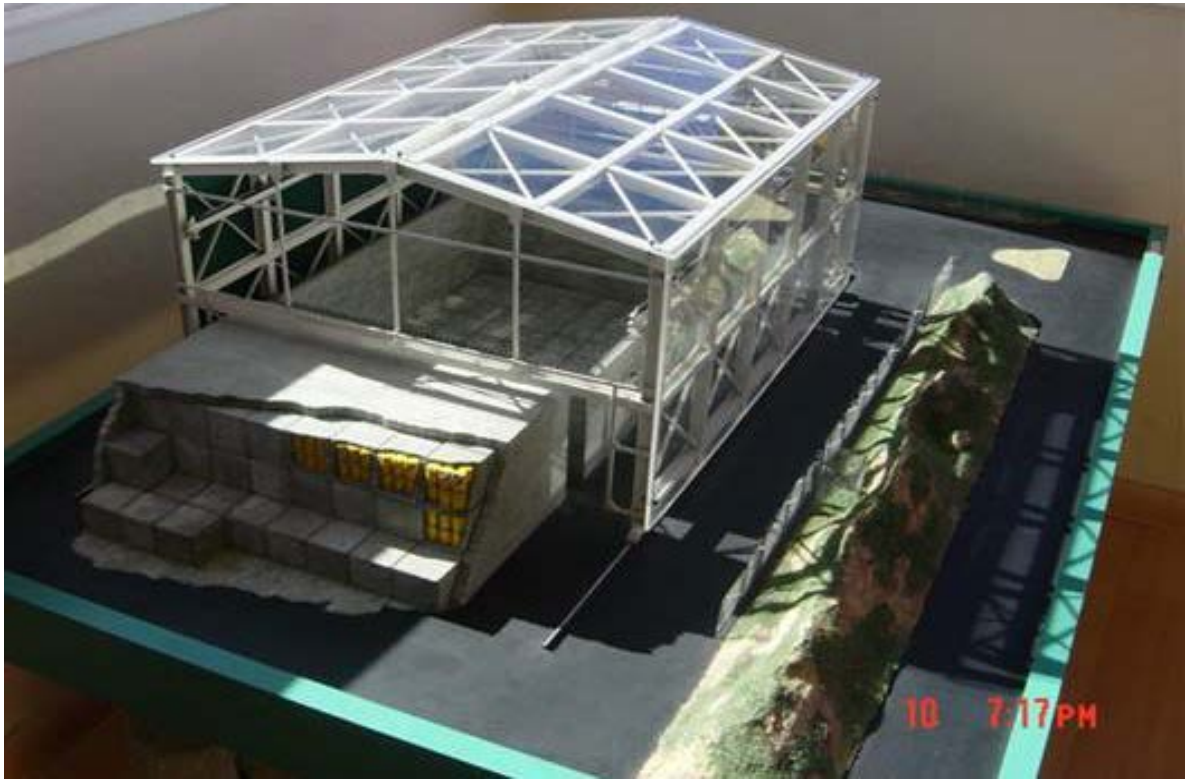


Figure 2. PL-8-120 FR and PL 14-215 FR [3]

图 2. 地表工程堆砌处置废物图例[3]

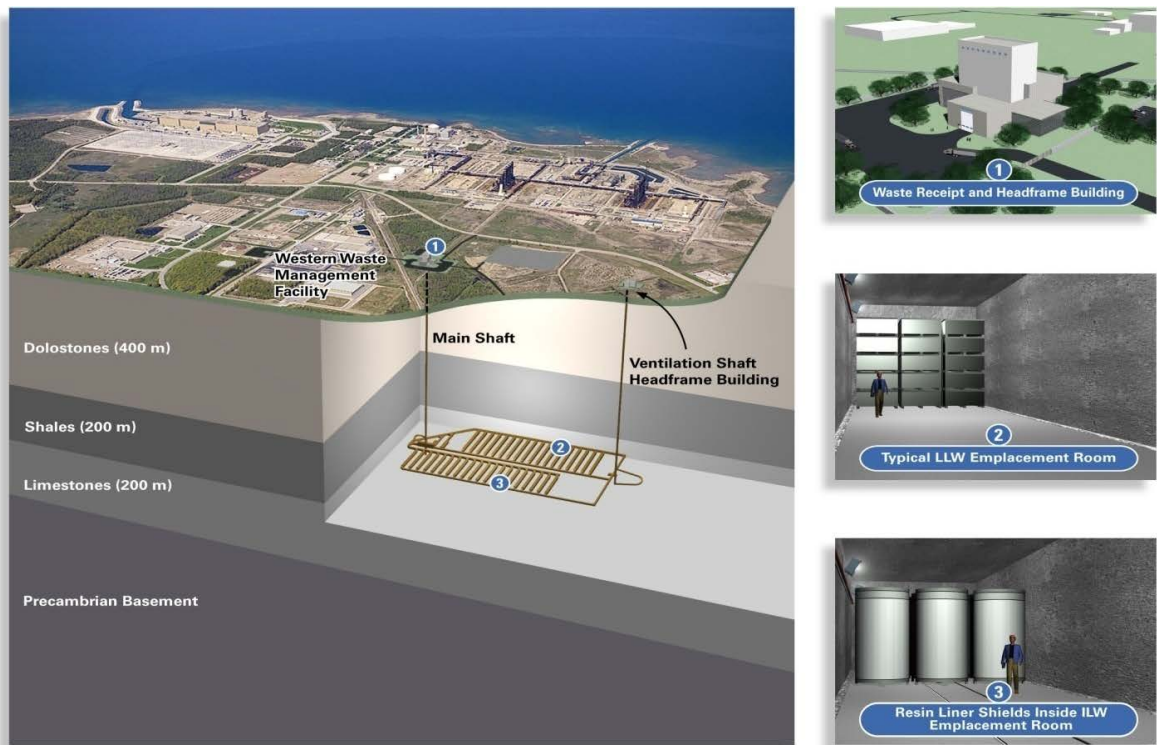


Figure 3. Example of deep geologic repository waste disposal technology [3]

图 3. 深地质处置废物图例[3]

浅地表填埋：图 5 是典型将处置容器放在粘土垫层上。废物容器层用自由流动砂覆盖，再盖粘土层。传统的做法是把容器或散装废物放进处置单元中直到废物区设计高度。在处置单元关闭后再覆盖的加强工程层。某些废物货包可能需要外包装减少坍塌的危险，如 HIC 容器。

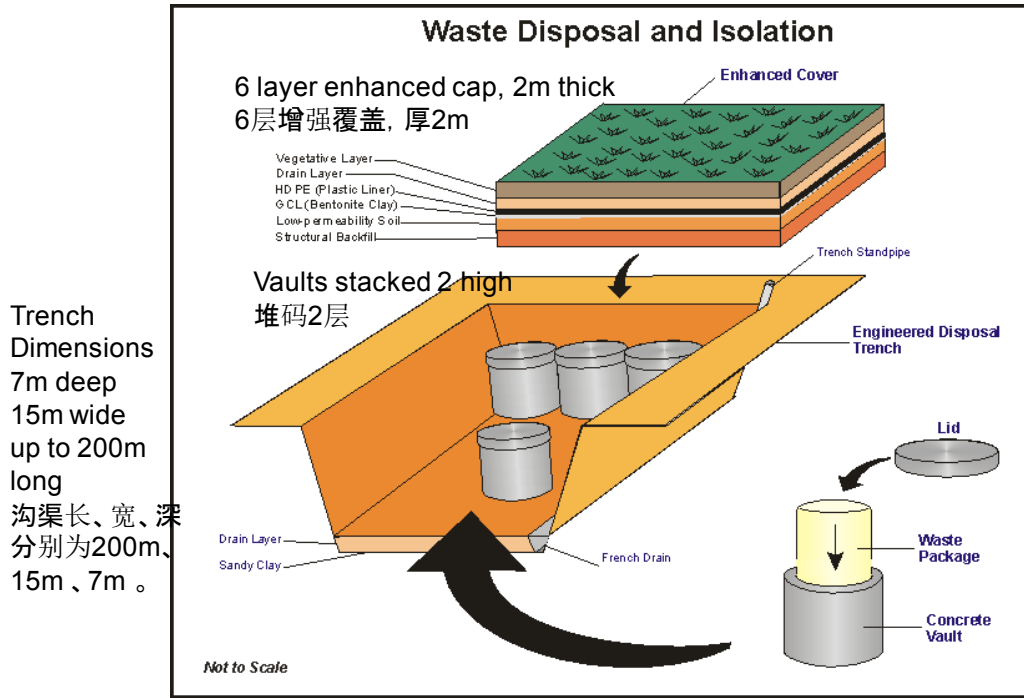


Figure 4. Typical example of near surface trench waste disposal technology [2]

图 4. 浅表面处置废物典型图例[2]

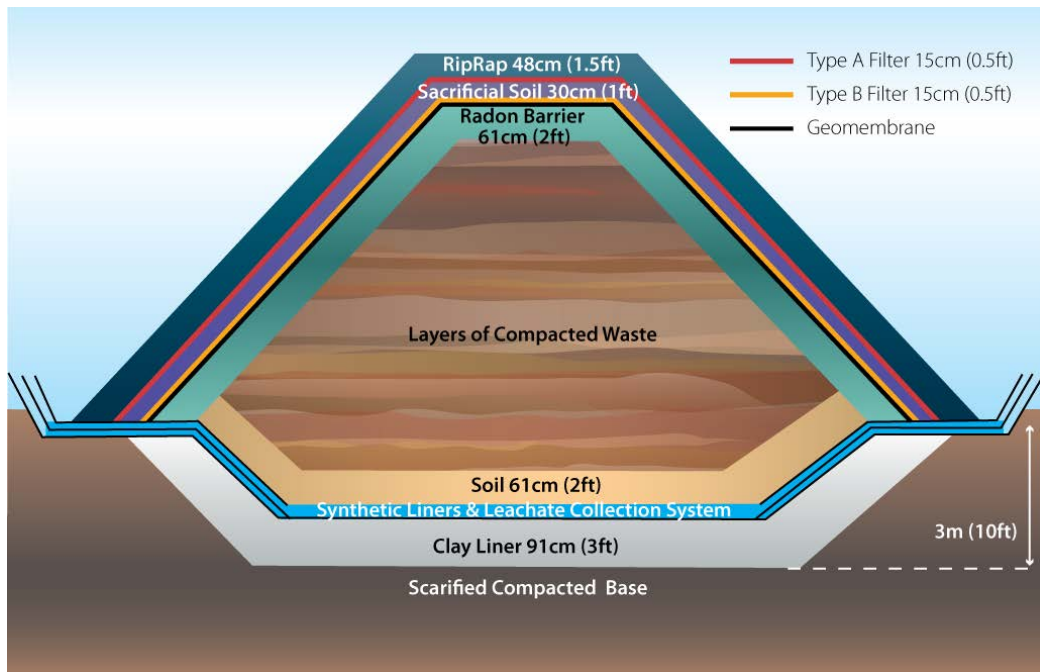


Figure 5. Typical example of mounded landfill waste disposal technology [2]

图 5. 浅填埋处置废物典型图例[2]

## 4. 结论和建议

从国内外的处置经验以及 HIC 特点来分析,以上四种方式都能满足聚乙烯 HIC 的处置要求。其中浅地表处置沟和浅地表填埋两种废物处置方法会牵涉到沉降,据美国原型测试表明在常规埋藏负荷下 HIC 在不加外包装容器情况其结构稳定性也能满足要求,在美国 HIC 采用浅地面处置沟和浅地表填埋方式时需将 HIC 先放入外包装容器内。采用认可的外包装可减少 US 管理者担心的 HIC 结构稳定性方面的材料蠕变和结构稳定性的问题。在美国浅地表处置沟和浅地表填埋两种废物处置方法均有采用。如果采用工程屏障和深地质处置方式时, HIC 就不需要外包装容器,因为在设计时就考虑了设施结构稳定性。

尽管美国监管机构断定聚乙烯 HIC 满足所有的监管要求,并且具有保持 300 年完整性的能力,中国监管机构仍需评估提交的 HIC 认证资料。在国外,选用聚乙烯 HIC 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 将会陆续应用在放射性废物处理和处置上,结合处置场具体情况设计聚乙烯 HIC 处置方式是处置场建设的重要一环。

## 参考文献 (References)

- [1] US NRC-Nuclear Material (1991) United State Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, Technical Position on Wasteform.
- [2] Ruffin, Ed. (2011) Energy solution polyethylene high integrity container qualification\_report.
- [3] Poole, S.D., Ed. (2013) Energy solution polyethylene high integrity container special topics report. HIC 专题报告.
- [4] CNSI (1983) 聚乙烯 HIC 专题报告(Topic report on polyethylene high integrity containers).
- [5] CNSI 聚乙烯 HIC 型式试验报告.
- [6] GB9132-报批稿低、中水平放射性废物的近地表处置规定.
- [7] GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准.
- [8] GB12711-1991 低、中水平放射性固体废物包装安全标准.