

行政院原子能委員會放射性物料管理局  
委託研究計畫研究報告

國際核設施除役案例經驗回饋探討

計畫編號：102FCMA004

報告編號：102FCMA004-09

執行單位：核能研究所

計畫主持人：周鼎

子項工作負責人：張淑君

報告作者：黃志中、李學源、林南雄

報告日期：中華民國 102 年 12 月

[本頁空白]

# **International Nuclear Facility Decommissioning Experience**

Jhieh-Jhong Huang, Hsueh-Yuan Lee, Nan-Hsiung Lin

## Abstract

This report describes experience of Oyster Creek preparing for decommissioning and the successful experience of the Maine Yankee's and Connecticut Yankee's decommissioning project.

The Oyster Creek process – planning for decommissioning prior to shutdown - has considerable cost benefits to the plant owners by having sufficient planning performed to allow a prompt and orderly transition from operations to decommissioning.

Maine Yankee and Connecticut Yankee have completed all portions of the required decontamination and remediation work. This report describes pre-shutdown issues, transition activities, use of decommissioning operations contractor, fuel storage options, regulatory and stakeholder interaction, engineering and use of technology, site closure issues, current status and etc... These topics will be encountered and be unavoidable during decommissioning processes.

Keyword: Decommission, Site closure, License termination

Institute of Nuclear Energy Research

# 國際核設施除役案例經驗回饋探討

黃志中、李學源、林南雄

## 摘要

本篇研究報告為 Oyster Creek 核除役先期規劃經驗，以及 Maine Yankee 和 Connecticut Yankee 除役專案成功經驗。

Oyster Creek 電廠在最後停止運轉前即進行除役規劃，可以讓資方節省許多經費，並備妥許多合理計畫，能讓電廠由運轉至除役有秩序及循序漸進的轉換。

MaineYankee 及 Connecticut Yankee 核電廠已完成全部的除污和整治工作，為了將來的除役計畫能夠獲取必要的經驗。報告中描述了過渡期的活動、除役承包商的選用、用過燃料貯存、與主管機關和利害關係者的互動、工程及技術的使用、廠址關閉議題等…，這些議題都是除役的過程中會遭遇到且無可避免的。

關鍵字：除役、廠址關閉、執照終止

# 目 錄

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 1. 前言 .....                         | 1  |
| 2. Oyster Creek 核能電廠之除役先期規劃經驗 ..... | 2  |
| 2.1 簡介 .....                        | 2  |
| 2.2 背景 .....                        | 2  |
| 2.3 電廠描述 .....                      | 4  |
| 2.4 計畫管理 .....                      | 5  |
| 2.5 管制程序 .....                      | 10 |
| 2.6 工程及工作程序 .....                   | 16 |
| 2.7 計畫經費及時程 .....                   | 20 |
| 2.8 廠址外釋 .....                      | 22 |
| 2.9 低階放射性廢棄物 (LLRW) 管理 .....        | 26 |
| 2.10 用過核子燃料管理 .....                 | 32 |
| 2.11 社區和員工的溝通 .....                 | 36 |
| 2.12 經驗學習 .....                     | 40 |
| 2.13 附件 .....                       | 43 |
| 3 Maine Yankee 除役經驗 .....           | 55 |
| 3.1 簡介 .....                        | 55 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 3.2 停止運轉前議題 .....               | 60  |
| 3.3 過渡期活動 .....                 | 63  |
| 3.4 除役作業承包商的使用 .....            | 78  |
| 3.5 燃料貯存選項 .....                | 87  |
| 3.6 與主管機關和利害關係人之互動 .....        | 97  |
| 3.7 工程及技術的使用 .....              | 112 |
| 3.8 廠址關閉議題 .....                | 127 |
| 3.9 現狀 .....                    | 140 |
| 3.10 附件 .....                   | 141 |
| 4 Connecticut Yankee 除役經驗 ..... | 162 |
| 4.1 簡介 .....                    | 162 |
| 4.2 停止運轉前的議題 .....              | 165 |
| 4.3. 過渡期活動 .....                | 167 |
| 4.4 除役分包商 .....                 | 181 |
| 4.5 用過核子燃料貯存 .....              | 183 |
| 4.6 主管機關和利害關係人的互動 .....         | 187 |
| 4.7 使用的技術 .....                 | 194 |
| 4.8 廠址關閉議題 .....                | 208 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 4.9 地下水的整治 ..... | 219 |
| 4.10 現狀 .....    | 231 |
| 5 結論與建議 .....    | 233 |
| 參考文獻 .....       | 244 |

## 附 圖 目 錄

|   |     |
|---|-----|
| 圖 2-1 Oyster Creek 電廠結構 .....             | 4   |
| 圖 2-2 廠址外釋流程.....                         | 23  |
| 圖 3-1 Maine Yankee 在 Maine 州的位置圖 .....    | 58  |
| 圖 3-2 Maine Yankee 區域位置圖.....             | 58  |
| 圖 3-3 Maine Yankee 廠址平面圖.....             | 59  |
| 圖 3-4 Maine Yankee 空照圖 1.....             | 59  |
| 圖 3-5 Maine Yankee 空照圖 2.....             | 60  |
| 圖 3-6 Maine Yankee 第一階段 RCS 除污 .....      | 69  |
| 圖 3-7 Maine Yankee 第二階段 RCS 除污 .....      | 70  |
| 圖 3-8 取得價值報告範本 .....                      | 85  |
| 圖 3-9 Maine Yankee SFPI 簡圖.....           | 90  |
| 圖 3-10 Maine Yankee ISFFI 墊及乾式貯存筒 .....   | 96  |
| 圖 3-11 Maine Yankee 尚未切割前的 RPV 及內部組件..... | 114 |
| 圖 3-12 Maine Yankee 計畫切割的熱屏蔽及爐心支撐桶 .....  | 114 |
| 圖 3-13 Maine Yankee 內部組件的切割 .....         | 115 |
| 圖 3-14 Maine Yankee 切割件吊具及放置回壓力容器內 .....  | 116 |



|   |     |
|---|-----|
| 圖 3-15 Maine Yankee RPV 準備送至 Barnwell ..... | 117 |
| 圖 3-16 Maine Yankee 汽機柱腳炸藥放置後爆破 .....       | 121 |
| 圖 3-17 在爆破之拆除後的 Maine Yankee 汽機廠房 .....     | 122 |
| 圖 3-18 在爆破分解之後的 Maine Yankee 極座標吊車 .....    | 124 |
| 圖 3-19 Maine Yankee 圍阻體拆除準備 .....           | 125 |
| 圖 3-20 Maine Yankee 圍阻體已準備好進行拆除 .....       | 126 |
| 圖 3-21 Maine Yankee RPV 及屏蔽 .....           | 132 |
| 圖 3-22 Maine Yankee 爐心量測儀器井 .....           | 133 |
| 圖 3-23 Maine Yankee 沉澱前池 – 尚未整治前 .....      | 134 |
| 圖 3-24 Maine Yankee 沉澱前池 – 特性調查及整治 .....    | 135 |
| 圖 3-25 Maine Yankee 沉澱前池 – 圍堤岩芯抽樣 .....     | 135 |
| 圖 3-26 Maine Yankee 沉澱前池 – 整治後 .....        | 136 |
| 圖 4-1 Connecticut Yankee 核電廠運轉期間的廠址 .....   | 165 |
| 圖 4-2 包含在 CY 化學除污邊界的系統 .....                | 171 |
| 圖 4-3 CY 土地區域的 MARSSIM 分類 .....             | 179 |
| 圖 4-4 CY ISFSI .....                        | 186 |
| 圖 4-5 蒸汽產生器較低組件的底端 .....                    | 196 |
| 圖 4-6 移動蒸汽產生器下端組件至駁船滑台 .....                | 197 |

|   |     |
|---|-----|
| 圖 4-7 鐵路運輸蒸汽產生器下端組件從南卡羅來納州海岸至 Barnwell .. | 198 |
| 圖 4-8 CY 反應器容器和內部組件 .....                 | 199 |
| 圖 4-9 Grant Machine 機械手臂 .....            | 202 |
| 圖 4-10 最後 RPV 的配置 .....                   | 203 |
| 圖 4-11 第一次下降前用液壓撞擊鎚移除腳支柱 .....            | 206 |
| 圖 4-12 第一次下降前從腳支柱內側移除混凝土 .....            | 207 |
| 圖 4-13 綜合運輸商的包件 .....                     | 208 |
| 圖 4-14 2003 年 12 月地下水監測狀態 .....           | 220 |
| 圖 4-15 整治前氡趨勢 .....                       | 221 |
| 圖 4-16 整治前鋇 90 趨勢 .....                   | 222 |
| 圖 4-17 從西側的 PAB 挖掘 .....                  | 224 |
| 圖 4-18 地下水位以下的土壤/基岩整治區 .....              | 225 |
| 圖 4-19 包括後期整治成果的氡趨勢 .....                 | 230 |
| 圖 4-20 包括後期整治成果的鋇-90 趨勢 .....             | 230 |

## 附表目錄

|  |     |
|--|-----|
| 表 2-1 除役工程設計基礎的分析 .....                | 17  |
| 表 2-2 除役的工程系統與設計標準 .....               | 18  |
| 表 2-3 工作程序規劃及目標 .....                  | 19  |
| 表 2-4 1997-1999 除役規劃經費 .....           | 20  |
| 表 3-1 DOC 及 Non-DOC 風險的責任歸屬 .....      | 80  |
| 表 3-2 1997-2005 計畫花費總結 .....           | 141 |
| 表 4-1 除役及燃料儲存活動的輻射暴露及預測值 .....         | 172 |
| 表 4-2 CY 化學除污-預期的與實際的 .....            | 175 |
| 表 4-3 不同的主管機關的外釋限值比較 .....             | 192 |
| 表 4-4 土壤基本案例 DCGLs .....               | 211 |
| 表 4-5 地下水基本情況 DCGLs .....              | 212 |
| 表 4-6 基本情況建築物表面 DCGLs (建築物佔用的情境) ..... | 213 |
| 表 4-7 建築物拆除基本情況 DCGLs (混凝土碎片) .....    | 215 |
| 表 4-8 地下採樣密度 .....                     | 218 |
| 表 4-9 HNP 土壤整治區域 .....                 | 227 |
| 表 4-10 地下水外釋限值與取樣數據的比較 .....           | 229 |

[本頁空白]

## 1. 前言

原子能委員會於民國九十二年八月頒布「核子反應器設施管制法施行細則」，並於民國九十三年七月發布「核子反應器設施除役許可申請審核辦法」，明定核子反應器設施除役申請應檢具之申請資料及除役計畫應包括之事項。我國完整的核能電廠除役審查技術，包括除役計畫書導則，除役計畫審查規範，以及除役相關程序中各項技術，如拆除技術、除污技術、廢棄物管理、輻射劑量評估等的審查能力，則有待進一步建立。本計畫之目的為深入研究除役中各項相關專業技術，使我國核子反應器除役計畫得以落實，且經由縝密之規劃，確保我國核設施除役工作進行之安全及順利。

102 年「精進放射性物料安全管制技術發展」計畫，分項計畫「用過核子燃料及放射性物料安全管制技術發展」，子項計畫「核子反應器設施除役技術研究」其中之一的項目「國際核設施除役案例經驗回饋探討」，主要工作為蒐集國外已除役及正在除役電廠之相關資訊，研析其核設施除役進行時各階段時產生的各項議題，及其相關解決方法，以此為借鏡提出經驗回饋，藉此讓國內核設施除役安全且順利地執行，並供權責機關審查核子反應器設施除役計畫之基礎與參考。

本篇報告為蒐集之 Maine Yankee、Connecticut Yankee、Oyster Creek 等電廠除役技術、經驗相關研究報告，經研讀後彙整成此報告。

## 2. Oyster Creek 核能電廠之除役先期規劃經驗

### 2.1 簡介

在撰寫此報告時 Oyster Creek 仍是屬於 GPU 公司所有，故報告中 GPU 公司是假設 2000 年停止運轉，並立即轉換到除役，來規劃除役計畫。

在 1997 年 8 月，GPU 公司宣佈有買家 AmerGen Energy 已同意購買電廠，同年 10 月簽約，契約中希望於在 1997 年 5 月停止運轉；同時他們也買下 TMI-1，並決定在 1999 年 12 月關閉。

但是在 2003 年 AmerGen Energy 被 Exelon 收購，並且由於其它燃料的發電成本開始上揚，於是 Oyster Creek 電廠繼續運轉，原本 40 年的運轉執照於 2009 年到期，Exelon 於 2005 年申請延役 20 年，2009 年 4 月 8 日獲准延役至 2029 年 4 月 9 日。

在獲准延役後的一週，工作人員發現由於 1991 年埋管時未適當地隔絕，導致氙外洩，並污染地下水及進入河川中。2010 年 12 月，Exelon 宣布將於 2019 年停止運轉，比預計的延役時間早 10 年。

由於上述的緣故，規劃除役計畫沒有施行，但 Oyster Creek 電廠在最後停止運轉(原本假設的 2000 年)前即進行除役規劃，可以讓資方節省許多經費，並備妥許多合理計畫，能讓電廠由運轉至除役有秩序及循序漸進的轉換。

Oyster Creek 電廠的除役先期規劃經驗被記錄成文件，提供給工業界以作為準備除役的工作指導原則。

### 2.2 背景

GPU 公司在 1997 年中期宣佈 Oyster Creek 電廠將可能在 2000 年 12

月提早停止運轉退休。主要的停止運轉原因是電力事業的競爭，當 New Jersey 州之政策開始傾向解除管制時，Oyster Creek 電廠就無法在競爭市場上與同業競爭。

Oyster Creek 電廠僅有單一機組且僅能產生 620 MWe 之沸水式反應器。因此，很難與大型、多機組核能電廠及低運轉費用、低維護費用之大型火力電廠競爭。在 1990 年代，電廠效率明顯提升，尤其在發電量、人員輻射劑量、維修週期、人員效率、安全性及可靠度；故 Oyster Creek 電廠之停止運轉除役是基於經濟的考量而非電廠運轉操作之效率。

另一個促進變動的可能因素為：GPU 公司經營方向的變動，由電力生產事業轉型為電力傳輸與供應事業；那時，公司沿著 Three Mile Island Unit I plant 的石化生產資產已經出售給在 Pennsylvania 州的 Harrisburg。

在 1997 年 四月，GPU 公司宣佈 Oyster Creek 電廠的三個可能選項：

- 繼續運轉至 2009 年之執照到期日
- 出售電廠
- 提早在 2000 年停止運轉 並立即轉換到除役

在 1997 年 8 月，GPU 公司宣佈有買家 AmerGen Energy 已同意購買電廠，同年 10 月簽約，契約中希望於在 1997 年 5 月停止運轉；同時他們也買下 TMI-1，並決定在 1999 年 12 月關閉。

Oyster Creek 電廠是有計畫性的出售，除役計畫均為有秩序、有目標以為將來使用而努力；本報告的目的是記錄這個除役過程，並期望能夠作為將來其他電廠除役的模範；報告包含有關工程、輻射與環境控制、低放射性廢棄物處理、用過核子燃料管理和通訊等領域的計畫、學習與策略計畫的討論；同時提及電廠處理有關員工這主題及與社區的關係；最後再將所學到的心得與包含各種工作並可作為範本的時間表列於文末。

### 2.3 電廠描述

Oyster Creek 電廠屬於 GPU 核能公司，擁有單一 BWR 機組，位於 New Jersey 州中部海岸邊，可生產電力 620 MWe，於 1969 年開始運轉；它採用“BWR-2” NSSS(Nuclear Steam Supply System)的設計，是屬於早期的世代，使用相同設計的機組相當少，圍阻體為 BWR 通用的“MARK I”型。

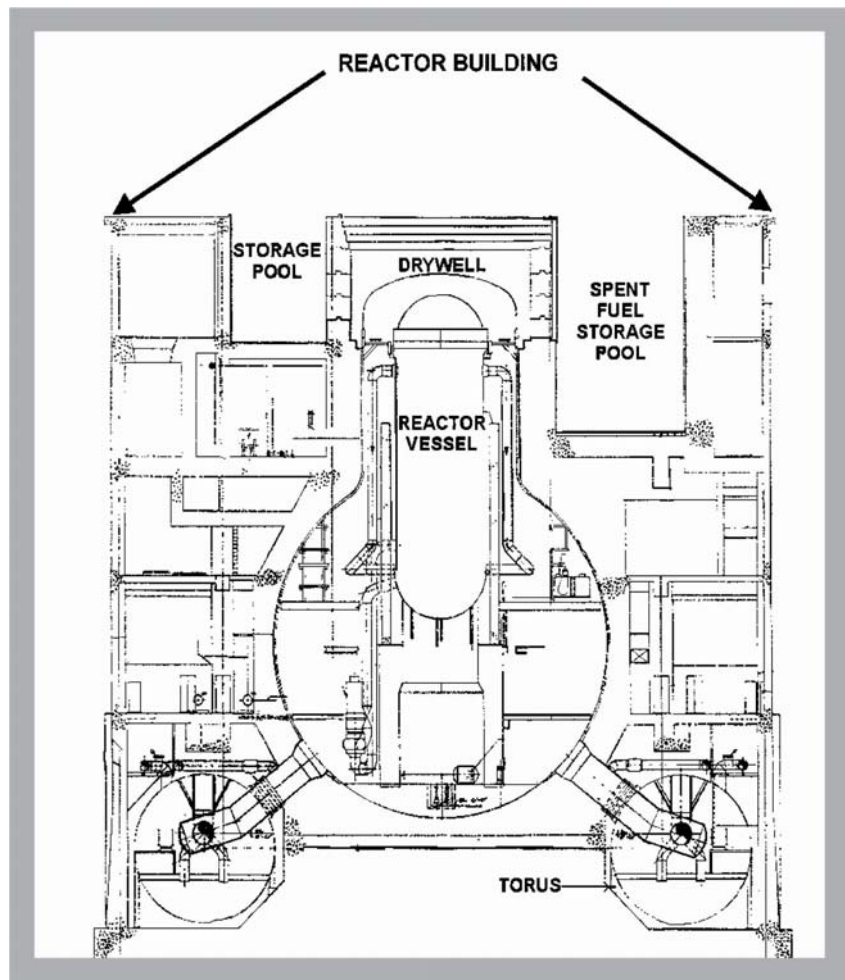


圖 2-1 Oyster Creek 電廠結構

在美國，稍大型且長期運轉的 BWR 尚無完成除役的經驗；當除役計畫開始時，對此型電廠的除役思慮均是獨一無二的；大部分重要的考慮點就是在 Mark I 圍阻體內，用過核子燃料儲存池(SFSP)與反應器相鄰太



近；在預定 2000 年 9 月停止運轉時，用過核子燃料儲存池(SFSP)幾乎將完全放滿了用過核子燃料(2980 束)，此時廠址內並無申請乾貯執照；在除役時，GPU 核能公司對乾式貯存或濕式貯存也尚無作最後的決定。

另一個影響除役的主要因素是用過核子燃料儲存池(SFSP)的設計基礎；因 Oyster Creek 電廠的 SFSP 設計基礎在業界是獨一無二的，原 SFSP 之設計基礎並無考慮沸騰或其他不正常事件時，能安全無虞；故除役計畫須重新考慮 SFSP 之冷卻系統設計，以確保長期除役使用。

## 2.4 計畫管理

當開始規劃 Oyster Creek 電廠除役計畫時，並無前例可遵循；凡除役所需各類的計畫、申照的文件、策略及計畫文件都無範例可遵照；雖有新的除役規則，但 NRC 也尚無公告指導文件，所以那時無論在業界及 NRC，除役工作有許許多多的不確定性。

在 1997 年已先預定 Oyster Creek 電廠繼續營運至 2000 年秋天後停止運轉並立即轉換至除役工作；這種在營運時即規劃好除役之計畫，很明顯的顯示出這是最合乎經濟效益的除役方式；有許多電廠(如 Connecticut Yankee, Maine Yankee, Trojan, Rancho Seco and Yankee Rowe 等) 提早停止運轉，然後做決定準備除役；這樣的方式比較浪費，因為在停止運轉後仍維持著過多的人員，且不必要的委任契約仍然有效，而一些原本可在停止運轉前即可啟動的工程在停止運轉後才能開始執行。

### 計畫基本假設

執行 Oyster Creek 電廠除役計畫的基本前提假設：

- 預定 2000 年秋天停止運轉
- 選擇”立即拆除(DECON)” ，因為公司承諾停止運轉後” 立即拆除

(prompt dismantlement) “

- 停止運轉時，用過核子燃料儲存池(SFSP)須足夠容納所有的用過核子燃料，額外的燃料儲存架須在停止運轉前準備好
- 需依據 10 CFR 20.1402 之規定將電廠除污至允許廠址可毫無限制的作後續使用
- 假設 2010 年前，能源部門將不會接管用過核子燃料
- 在電廠除役時，低放射性廢棄物處理廠已就緒
- 將盡最大的可能來雇用 GPU 公司原廠人員；是否視 GPU 為除役工程承包商或將相關資源外包給其他包商，並無作明確的決定
- 在停止運轉時，除役信託基金足夠除役工作開展

### 資源及人力轉移

#### 計畫組織

為了開展除役計畫並確保電廠能順利繼續運轉至 2000 年 9 月，工程部門成立一個小型的除役計畫小組，原先的小組組織列於附件二。

透過包商的協助在 1997 - 1998 間完成了所有的計畫工作；在 1999 年，小組經由兩個增加的申照小組及 12-14 工程人員來發展細部的申照策略及所有除役工作所需要的工程計畫修改，因為已是最後一個運轉週期，電廠也不需要再規劃其他工作計畫，故讓這些電廠人員和包商一起工作。

#### 人力轉移

推動除役計畫所獲得的主要財務利益是來自於人力的精簡；在 Oyster Creek 電廠，在運轉時大約需要 800 人，預估在最後停止運轉除役工作開展時約只需要 400 人，而當主要除役工作進行時可更精簡至 300 人。

為順利促進由運轉至除役之工作任務轉換，除役工作任務應在最後停止運轉前之三個月開始安排，並在停止運轉後三個月內完成；原則上應以

除役工作任務來選擇適當人員並以保留計畫來安置未被選中之人員。

### 人員保留計畫

由於 1997 年四月宣布將停止運轉，預期人員將會發生摩擦，尤其在年輕員工間會更嚴重；因此，提出一個『人員保留計畫』，提供員工財務上的誘因，來保留員工在 Oyster Creek 電廠裡到職位確定不再保留為止；此『人員保留計畫』提供一年的資遣費給每個員工，作為 47 至 54 歲的員工則提供轉換職場的”橋樑”，及超過 55 歲員工則提供提早退休方案；並提供職業加強訓練教育以備員工轉換職場，本計畫已被證明非常的成功，可讓電廠安全的運轉至 2000 年 9 月停止運轉為止。

### 模式轉變的規劃

當電廠準備除役時，要考慮人員心裡的狀態；要設法由運轉時，核能安全的心裡狀態轉變至除役時以考慮工業安全的心裡狀態；如果員工無法順利轉換心裡狀態，則費用增加及時程的延遲將會發生。

GPU 進行了下列文化轉移的活動：

- 拜訪正在除役中的電廠
- 舉辦『程序與文化』之學習課程來確定所需技能及文化的改變
- 建立除役的目標
- 發展『轉換管理』的計畫
- 計畫籌辦培養『轉換管理』程序的研討會
- 發展機組工作人員討論工作描述以確認在除役時所需改變的技能

### 討論機組除役工作描述

除役時需要比運轉時更多不同的技能；雖然電機、機械、儀控、操作人員都需要，但所需的員工數卻比運轉時來得少很多；故從運轉時需要高技能技術人員轉變成除役時低技術的勞力工人，因此，除役時需要多種技

能的員工以提高除役時的效率。

在 Oyster Creek 電廠，為了增加彈性，增加了六類新的勞務工作：

六類新的技術人員為：

- 除役輻射安全防護技術員。
- 除役核能機械維修技術員。
- 除役核能電子維修技術員。
- 除役核能儀器控制技術員。
- 除役核能廠設備操作技術員。
- 除役管制站協助人員。

### **除役計畫規劃**

#### **除役計畫規劃 (DPP' s)**

除役計畫規劃擬定了除役時所需的計畫、策略、學習及工作內容，並成為 Oyster Creek 電廠除役時的整合計畫，除役計畫規劃共被細分成 52 個獨立計畫，列於附件三。

### **除役的階段**

除役過程共分為個 4 個階段。

#### **第一階段 - 除役計畫及準備**

從計畫開始至電廠停止運轉，在此階段規劃的活動如下：

- 規劃假設和設計基準
- 策略及計畫計畫
- 支持計畫的技術及可行性評估
- 時程
- 修改程序
- 關鍵決定及里程碑

- 員工轉移計畫
- 執照申請
- 電廠設計修改
- 經費評估
- 意外事件計畫
- 低階廢棄物計畫
- 用過核子燃料管理
- 廠址特性調查
- 與員工及股東溝通
- 工會協議

第二階段 - 除污及拆拆除之計畫準備及修正  
 在最後停止運轉後至正式除污及拆除工作前

- 石棉的去除
- 運轉系統的特性調查及特質
- 一次側系統的化學除污
- 安裝除役電廠修改，像是電力的轉換、燃料池冷卻系統的轉換、  
 監控站、暖通空調(HVAC)的轉換、輻射監控系統。
- 安裝暫時性的設施
- 安裝廢棄物處理系統
- 系統掛牌及排水

第三階段 - 除污及拆除  
 硬體除污、拆除及裝運

- 移除大型組件，例如反應器壓力容器、蒸氣產生器(對壓水式反應器)

- 除污
- ISFSI 設計及建造
- 傳送燃料至乾式貯存設施 (如果有使用)
- 液體廢棄物的處理
- 移除活化混凝土及結構材料
- 考量 GTCC
- 區域拆除

#### 第四階段 - NRC 廠址外釋及執照終止

執照終止計畫 (License Termination Plan) 必須在廠址執照有效日之前兩年提出，且須依據 10 CFR 20.1402 之規定將電廠除污至允許廠址可毫無限制的作後續使用，一旦完成這些工作並獲得廠址勘查確認，電廠之執照即可終止。

#### 第四階段之後 - 乾式用過核子燃料貯存

期間從廠址保護區之釋放一直延續到所有用過核子燃料從廠址移出為止。

## 2.5 管制程序

建立核能電廠有許多必須遵照的現成法規，但除役則剛在發展期，並無明確法律可遵循；故對 Oyster Creek 電廠而言，有特定的機會可以發展創新而能節省經費的申照策略。

NEI 98-02 列出了一些在 1996 年頒佈有關 10 CFR 50 除役規則的變化並描繪出對這些改變在工業上的補充；此文件是 Oyster Creek 電廠發展申照策略的堅強基礎。

NRC 和核能界都很主動積極努力的發展除役的管理程序；SECY 99-168

是 NRC 對將來電廠除役管理所做的整體計畫。

### 申照策略

Oyster Creek 意圖發展一能夠在永久停止運轉後可立即除役的申照策略，以下是他們為達到此目標所做的努力：

- 公開並誠實的與主管機關溝通意見
- 為能夠儘可能應用到除役基金，提出一個管制時程表
- 確認在最後停止運轉時，除役申照基礎已完成
- 需要 NRC 核可的文件，在確定要永久停止運轉時，儘可能越早提出申請(最後停止運轉或燃料移除的 30 天內)
- 若計畫在 2000 年秋天停止運轉，則在 2000 年 6 月準備好所有必須的申請核可文件，需要補充的計畫及程序書均與 NRC 的審查同步進行
- 從管制需求裏要求做最大可能的豁免。這並不意味著，NRC 批准後 GPU 所有主管機關的豁免將立即實施。目的是為在除役有急迫的狀況時，讓管理具有靈活性來修改的方案、計劃和程序。
- 應用現成的管制機制完成目標
  - 法規的變化影響除役
  - 執照條件 - 10 CFR50.54 (即，變更而不需 NRC 的核准)。
  - 特別豁免 - 10 CFR50.12。
  - 變更、測試和實驗 - 10 CFR50.59(即，變更而不需 NRC 的核准)。
- 應用 10 CFR 50.54 至 10 CFR 50.59 等條文，可能減少 NRC 的管制
- 多應用文件及業界努力的成果
- 於可能的範圍內，在申照文件裡，併入風險的評估

- 聘用一個整合團隊對所有主要申請文件作審查以確保這些文件與計畫均為一致的
- 和管制單位維持有效的工作關係，由電廠不同階層的人員與管制單位之關鍵人員保持聯繫
- 與 NRC 人員對申照文件之內容與時程一齊努力，常舉行狀況會議 (例如，每季)
- 與州政府常舉行狀況會議
- 發展與維持與工業界的接觸
- 應用最近的電廠除役經驗(Maine Yankee, Big Rock Point, Trojan, Yankee Rowe, Millstone I, and Connecticut Yankee).

## 申請執照

### 申請執照所需提送文件

根據 10 CFR 50.82 之規定，從運轉至除役需準備下列文件：

- 永久停止運轉聲明書 Certification of Permanent Cessation of Operations (within 30 days after shutdown decision)
- 停機後除役作業報告 Post-Shutdown Decommissioning Activities Report (PSDAR)
- 除役經費預估 Site Specific Decommissioning Cost Estimate
- 永久移空燃料聲明書 Certification of Permanent Removal of Fuel
- 執照終止申請與計畫 License Termination Application and Plan

其他管制單位除役所需文件

- 用過核子燃料管理計畫 Spent Fuel Management Program--50.54(bb)
- 燃料移除執照與技術規範 Defueled License and Technical



## Specifications--50.36(c)(6)

- 財務保證 Financial Assurance--50.75(f)

### 成本因素的提送文件

雖未被要求，但為確保能有效及經濟的除役，準備其他管制單位可豁免及一些變動計畫文件是必要的。

- 緊急計畫豁免申請書/燃料移除緊急計畫 Emergency Plan Exemption Requests/Defueled Emergency Plan
- 安全計畫豁免申請書/燃料移除安全計畫 Security Plan Exemption Requests/Defueled Security Plan
- 燃料移除品質保證計畫 Defueled Quality Assurance Plan
- 燃料移除操作員再認證、遴選計畫 Defueled Operator Requalification and Staffing
- 核能保險豁免 Nuclear Insurance Exemptions
- 燃料移除安全分析報告 Defueled Safety Analysis Report

NEI 98-02 已對上述文件作了細部的描述，此處無需贅言。

### 第一階段申請執照提送文件

第一階段須準備的文件：

- 永久停止運轉之聲明書 Certification of Permanent Cessation of Operations
- 停機後除役作業報告 Post-Shutdown Decommissioning Activities Report (PSDAR)
- 除役經費預估 Site Specific Decommissioning Cost Estimate
- 永久移空燃料之聲明書 Certification of Permanent Removal of Fuel
- 燃料移除執照與技術規範 Defueled License and Technical Specifications

- 緊急計畫豁免申請書 Emergency Plan Exemption Requests
- 燃料移除緊急計畫 Defueled Emergency Plan
- 安全計畫豁免申請書 Security Plan Exemption Requests
- 燃料移除安全計畫 Defueled Security Plan
- 燃料移除品質保證計畫 Defueled Quality Assurance Plan
- 燃料移除操作員再認證、遴選計畫 Defueled Operator Requalification and Staffing
- 核能保險豁免 Nuclear Insurance Exemptions
- 燃料移除安全分析報告 Defueled Safety Analysis Report

上述文件假設在停止運轉後，系統保持在現在的狀態，但實際上在停止運轉一年內通常電廠會作一些修改；故燃料移除技術規範、燃料移除安全分析報告須配合修改後的電廠狀況作修正。

有關緊急計畫及保防，要注意儘可能的向管制單位提出最大的豁免申請；由於這些豁免，燃料移除緊急計畫、燃料移除實體安全計畫、保防訓練及品保計畫、安全保防維持計畫等均可在停止運轉後草擬及完成、並可免除 NRC 在除役進行中要求更新新版本。

燃料移除技術規範制定須與改進後的標準技術規範及永久移除燃料之 BWR 標準技術規範一致，草案須包含再計算可能的除役意外，如最後停止運轉後 30 天完成燃料移除技術規範或所有燃料均已從壓力容器內永久移出，視那項工作較久；燃料移除安全計畫、保險免除、燃料移除品質保證計畫、操作員再認證遴選計畫、燃料移除緊急計畫、燃料移除安全分析報告均須與燃料移除技術規範一致。

所以在最後停止運轉後 30 天內得到重大的法規豁免，將讓修改方案、計畫、程序書等管理工作變得很有彈性，並且可適度的減少人員。

## 鋳合金火災考量

在燃料已永久移除下，廠址內已無甚大的風險；在 Oyster Creek 電廠之燃料移除安全分析報告內對場外的最大計算輻射劑量已遠低於 10 CFR 50, Part 100 及美國環境保護局的 Protective Action Guidelines (PAGs) 的規定，而且預估並無超越設計基礎的意外事件會發生；但 NRC 要求各電廠須對廠址用過核子燃料之鋳合金燃料鍍層在燃料池流失所有冷卻水時作過熱及發生火災的分析。

Oyster Creek 使用 SHARP Code 來評估鋳合金之火災分析；此套軟體由 The Brookhaven National Laboratory 所研發，並已由 NRC 採用來作為鋳合金火災之可能性；分析結果為若燃料池流失所有冷卻水後的最短時間為 2-4 月會發生火災；在 1999 年時 NRC 成立一 Technical Working Group (TWG)，並在委員會的指導下，對除役電廠做鋳合金/燃料池之火災分析，並預計在 2000 年 3 月完成，同時將之列為緊急計畫、安全警示、保險需求之一環。

審查是否豁免的其中一個標準是決定是否會發生鋳火災；GPU 公司選擇對燃料池冷卻水下降的可能性及因此並不會引起火災的評估；此以風險為基礎的評估將作為豁免需求的基礎，並可用來確認燃料沒有水覆蓋時並不會演變成意外事故，而同時可決定系統管控所需要增添的設備。

## **第二階段申請執照**

在永久停止運轉後之短時間內，已完成電廠修改之校訂後燃料移除技術規範須送至 NRC 做審核。

而校訂後燃料移除安全分析報告，應完成作為參考，其他燃料移除安全計畫也應在完成執行後提出。

用過核子燃料管理計畫及執照終止申請等影響實際的完成日期則有許

多原因，如管制環境、儲存設備的進度、廠址特性與地方/州政府的關係。

## 2.6 工程及工作程序

### 設計基礎分析

在規劃最後停止運轉前的 30 月前，以 4 個工程人員成立小組專職規劃除役事務；小組藉由外面承包商協助發展工程事務方面的除役計畫規劃 (DPP' s)、定義系統的修改範圍、發展系統設計及申照文件等所需之設計基礎分析等等。

特定的工程分析計畫是以競標方式決定承包商而非找單一或指定廠商；這樣一來，GPU 公司可藉此評估各供應商的能力並獲得最佳的利益。

表 2-1 列出有關除役工程設計基礎的分析範圍。

為了確保在除役時廠址系統所需之合理的設計及修改時間，大部分的設計基礎分析必須在最後停止運轉前之 12~24 個月前完成；故大部分的系統修改可在最後停止運轉後之頭一年內完成。

表 2-1 除役工程設計基礎的分析

| Analysis   | Usage  |
|--|--|
| Neutron activation                                       | Establish basis for cost estimate, RPV disposition options   |
| Accident analysis  | Basis for public health and safety during decommissioning; decommissioning systems design, Zr fire considerations  |
| Reactor pressure vessel removal and shipment feasibility | Major engineering challenge requiring long lead time. Needed to establish decommissioning schedule, evaluate cost-effective alternatives, and fuel-storage options |
| RPV chemical decontamination                             | Basis for personnel dose reduction; emerging technology evaluation   |
| Site-specific cost estimate                              | Basis for revenue collections, top-level selection of decommissioning alternatives and overall decommissioning planning.   |
| Personnel dose estimate                                  | Basis for personnel health and safety during decommissioning; decommissioning systems design   |
| Dismantlement sequence                                   | Basis for most effectively conducting decommissioning activities   |
| Work process and procedure redesign                      | Develop cost-effective work processes, eliminate unnecessary procedures, develop new procedures for decommissioning activities                                     |
| Plant modifications scope                                | Defines scope of decommissioning-specific engineered systems and plant modifications   |

### 修改設計

廠址修改須符合除役需求、設備移除，並能預防或阻止可能的除役事故發生。

為完成除役系統的初步設計，12 個工程及設計人員組成小組，專職設計除役系統；提供他們指導、相關的設計限制及修改範圍等資料，來展開表 2-1 所列之工作。

約在最後停止運轉之 20 個月前成立了廠房修改工程小組，此時已填充完最後一次的燃料，且在最後停止運轉前並無其他工作；小組的原始工作成果為概念設計文件 Conceptual Design Document。

表 2-2 列出了除役所作的工程系統及其限制條件，預定在停止運轉後立

即進行，並在 D&D(除污及拆除)前完成，預估需時 15 個月。

表 2-2 除役的工程系統與設計標準

| Engineered System                                 | Design Criteria   |
|---|---|
| Electrical Power                                  | <p>New system reduces personnel electrical hazards by eliminating need to identify and terminate leads of existing system prior to dismantlement activities</p> <p>Reduced decommissioning loads allow reduction in site power requirements</p> <p>Reduced credible accident spectrum allows reduction in redundancy and other “safety grade” characteristics</p> |
| Radwaste Processing                               | <p>New system allows dismantlement of operating plant systems which may include extensive piping and support systems</p> <p>New system designed to be dismantled</p>  |
| Spent Fuel Pool Cooling                           | <p>New system allows dismantlement of operating plant systems which may include extensive piping and support systems</p> <p>New system sized to reduced heat loads.</p> <p>New system can be localized to fuel pool area</p>  |
| Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) | <p>New or modified systems designed to support dismantlement activities.</p> <p>Potential for localizing key components to fuel pool area to supply accident mitigation requirements</p>  |
| Fire Protection                                   | <p>Modifications consistent with dismantlement activities (e.g., industrial safety requirements may predominate)</p>  |
| Radiation and Environmental Monitoring            | <p>Modifications consistent with dismantlement activities (e.g., changing radiological control envelope)</p>  |
| Plant “Monitoring” Station                        | <p>Monitoring station replaces control room of operating plant due to reduced operator action requirements after shutdown</p> <p>Monitoring station may be collocated with security station</p>   |

廠址修改的時程視停止運轉前的設計工程及除役期間不作過度工程設計而定；若能及時完成並獲得申照的豁免，即能在最早的時間進行(最快約停止運轉後 30 天，如特定系統之隔離、安裝環境監測系統)；用過核子燃料冷卻系統及廢棄物處理系統則須等候用過核子燃料盡量衰變後在較後時期處理；(工作管理與申照事務比工程限制的考慮對時程表的影響更為重要)。

移除僅在運轉中才會用到的系統，並安裝除役時才會使用到的系統將是規劃時很重要的一個重點。

## 工作程序及程序書處置

### 工作程序

在規劃除役計畫的初期，有一個觀點是除役應只是工業及商業行為，並不須歸類於核能工業類，故可以引用較簡單的工作程序而且可以很省錢，他們規劃出三類工作程序及目標，列表 2-3 裡：

表 2-3 工作程序規劃及目標

| Process         | Objective   |
|-----------------|---|
| Design Criteria | Establish process for developing decommissioning design criteria and assure that modifications are integrated properly. |
| Modifications   | Establish requirements for design and approval of modifications associated with decommissioning                         |
| Work Control    | Establish process and associated work management system (e.g., software) for performing decommissioning work.           |

這三類工作程序及目標，可分由 3 個團隊約在最後停止運轉 20 個月前以運轉工作外附加的工作開始進行。

然而在經過充分的討論後，認為並無法在最後停止運轉前完成所應有的程序校正及工程上的準備工作；而且電廠內不應有兩個完全不同型態的工作同時進行(運轉與除役)；最後這樣的工作被擱置暫緩，只有少數程序書有革命性的改變，故這些少數校正後的工作程序書之價值就達不到原來設想的價值，僅顯示出將現有程序書升級校正後使用於除役工作僅可以貢獻出一些用處。

### 程序書處置

大概約有 1500 個使用於運轉維護之程序書在除役時是用不到的；大概

在最後停止運轉前之 12 個月開始檢視程序書，主要為確定不需要的程序書、確定新程序書的使用範圍、確定程序書改變的效用和定義確認程序書效用的審查機制，這些工作被指派為審查小組長之附屬工作，而在電廠欲賣給 AmerGen.時即很快的結束。

## 2.7 計畫經費及時程

### 計畫經費

#### 規劃經費

表 2-4 列出了本報告之前所使用的經費：

表 2-4 1997-1999 除役規劃經費

| <b>GPU Nuclear Internal Costs</b> |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| 1997                              | 306,000          |
| 1998                              | 1,226,000        |
| 1999                              | 4,461,000        |
| Subtotal                          | 5,993,000        |
| Contractor Costs                  | 1,587,000        |
| <b>TOTAL</b>                      | <b>7,580,000</b> |

#### 經費預估

1997 年作經費預估，包含下列內容：

- 停止運轉日期 September, 2000
- 用過核子燃料乾式貯存



- 一區一區的 D&D
- 修訂低階放射性廢棄物的花費
- 修訂人力成本

在 1998 年除役經費預估為 579 百萬美元(約 180 億台幣)，包含 SAFSTOR 情境及用過核子燃料貯存選項(乾式或濕式、廠內或委外)，是委由承包商並送交公用事業委員會(Board of Public Utilities) 預估而得。

10 CFR 50.82 規定：特定廠址之經費預估須在廠址停止運轉兩年內送出，才能完全取用除役信託基金；為符合此規定，GPU 公司選擇在完成 PSDAR 文件及必要的公開會議後提出特定廠址之經費預估表，因此，GPU 公司可以在最後停止運轉時，有權完整地動用除役信託基金。

## 時程

### 基本狀況時程表

Oyster Creek 電廠 BWR 機組的除役時程表大部分均受用過核子燃料的處理計畫所影響；因為用過核子燃料池就位於反應器壓力容器旁邊，必須先將所有用過核子燃料從池中移除作乾式貯存或移至永久貯存場存放，才能對反應器廠房做拆除等工作。

Oyster Creek 電廠的基本除役時程為 2000 年停止運轉，2003 年開始移除燃料作乾式貯存，2007 年完成所有的燃料移除，2009 年開始廠房建築物移除，2010 年作除了 ISFSI 外之廠房釋放。

- 第一階段 - 規劃 1997 - 2000
- 第二階段 - 除污及拆除電廠準備 D&D 2000 - 2001
- 第二階段 - 除污及拆除 2002 - 2009
- 第四階段 - 執照終及廠址外釋 2007 - 2010

- 第四階段後 - 乾式用過核子燃料貯存 2007 - 2023

### **規劃情境**

附件四列出了乾濕式兩種處理燃料方法的時程表；乾式貯存使用雙功能的密封鋼筒而濕式貯存則存放在用過核子燃料池；雖然原預定使用乾式貯存，但仍未做最後決定；由表中可知，濕式貯存(2025年)比乾式貯存(2022年)多延後了約三年才能作廠址釋放。

## **2.8 廠址外釋**

### **過程要素**

廠址外釋是一個複雜且須和許多相關單位人員交涉的多方面的過程；許多核能電廠均位於鄰近主要水源供應之環境敏感區，故廠址外釋應考慮為除役計畫過程中整體計畫的一部分。

圖 2-3 為 Oyster Creek 電廠執行除役計畫時之廠址釋出過程之輪廓；計畫早期主要聚焦於廠址特性調查(Site Characterization)、策略評估與輻射劑量模擬；在第一階段的計畫裡並無包含執照終止與最終狀態的勘察。

廠址將來的可能用途均須在除役計畫中被考慮；從無限制的至有限制的各種方案均需評估，財產的未來價值均視除役所完成的程度來決定；碎石化的情境是 Oyster Creek 電廠所考慮的。

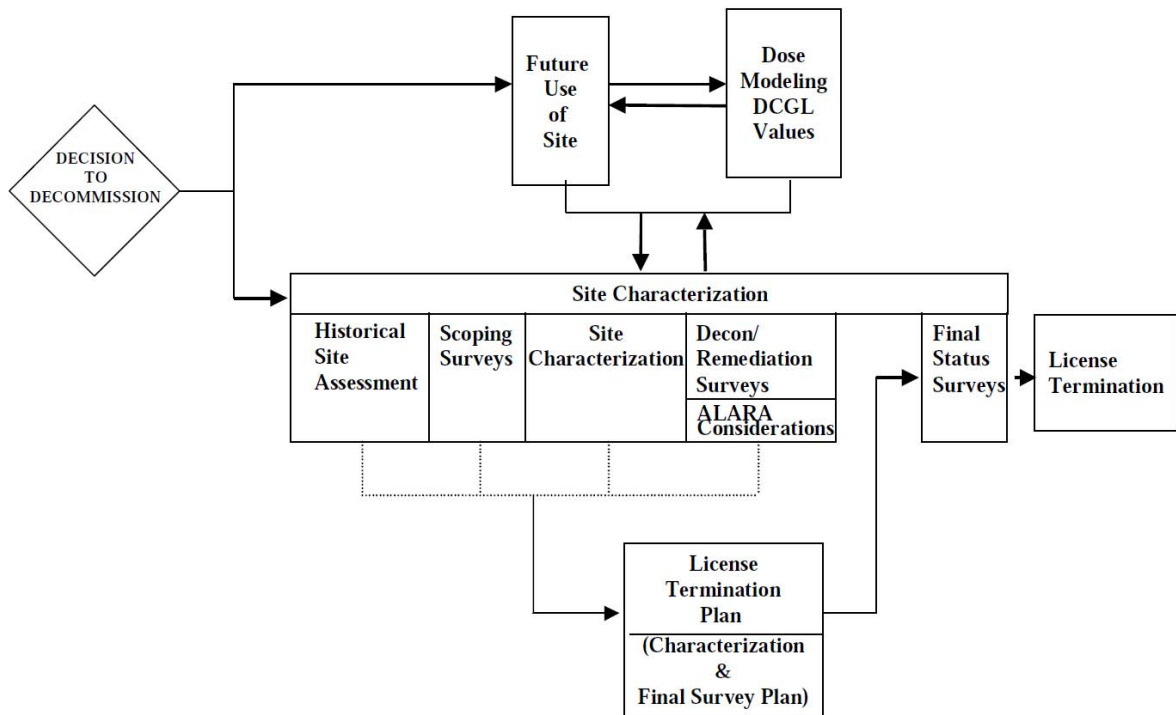


圖 2-2 廠址外釋流程

### 劑量模型/外釋標準

在 1997 年 7 月 21 日，NRC 公佈了執照終止時輻射劑量限制的規定 10 CFR 20, Subpart E；規定若廠址之殘留有效總輻射劑量關鍵群平均低於 25mR/每年且殘留輻射劑量已依合理抑低原則降低至相當水準則可允許執照終止、廠址釋出作無限制的使用；此規定也允許在限制狀況下之執照終止。

EPA 同時也對廠房執照終止的殘留輻射劑量定義了限制，許多州的環境保護局也同時推導出 EPA 標準或做出了殘留輻射劑限制；因為這些差別，在計畫初期儘早和相關人員開始討論並做出共同的協議決定應該遵守的標準與限制是非常重要的。

劑量模型化為發展 DCGL(Derived Concentration Guideline Limit)，就是對關鍵群殘留輻射劑量集中之效應相當於有效總輻射劑量為 25mR/每年；NUREG-1549 描述了計算 DCGL 值可被接受之方法。

NRC 於 1998 年 11 月 18 日在 Federal Register Notice 64133 提供了對建築物表面污染有關 beta/gamma 放射性核種之釋出量限制表；於 1999 年 12 月 7 日在 Federal Register Notice 68395 提出了土壤之釋出量限制表。

NRC 發展了 DandD 程式來評估劑量限制；其他如 RESRAD 和 RESRAD Build 也被應用於計算 DCGL 值。

劑量模型化及 DCGL 值之計算應該在整個除役過程中應重複且繼續的計算。

### 廠址特性調查

Oyster Creek 電廠之特性調查計畫主要在得到於運轉期間可能遭污染或活化的放射性材料數據。

廠址特性調查是整個除役過程中一直在進行的蒐集資訊的過程，下列為必須完成的目標：

- 確定類型、同位素的混合物，和結構、系統、組件和環境介質中的污染的程度
- 確定那些需要檢整
- 評估除污技術
- 預估除役費用
- 驗證活化分析
- 確定廢棄物包裝、運輸和處置的分類
- 支持劑量模型，發展劑量為基礎的廠址外釋標準。
- 評估未知數

- 確認該設施符合外釋標準。
- 評估很難檢測到放射性核種。
- 為執照終止計畫向 NRC 提供必要的資訊。

可用於除役計畫之放射性資料為：

- 結構表面的位置、空間分佈、組成的放射性同位及污染程度。
- 表面的輻射污染滲透深度
- 受污染環境介質(例如，土壤、沉積物和水)的位置、體積、輻射強度與放射性同位素組成。
- 受污染設備、管道、燈具等內部或表面的位置、分佈、放射性同位素組成和輻射強度
- 區域和設備的輻射劑量率。
- 確認反應器內組件和相關結構的中子照射引起的輻射強度的計算

**除役計畫須包括非放射性危險物質的資料：**

- 在油漆或其他表面塗層內的鉛、石棉、鉻和多氯聯苯
- 系統的結構及外表面上可能包含鉛、鉻酸鹽多氯聯苯、石棉和石油產品殘留物存在
- 這些污染物滲入結構表面的深度
- 鉛、鉻酸鹽、多氯聯苯、石油產品或揮發性有機化合物的殘留物在存在系統或組件中。
- 鉛、鉻酸鹽、多氯聯苯、石油產品或揮發性有機化合物的殘留物在存在址場土壤、沉積物或地下水中

New Jersey 州之工業廠址回復法(The Industrial Sites Recovery Act, ISRA) 規定：工業建成物之販賣、轉換、關閉，有關環境的事務及可靠性

均不能成為州政府的財務負擔。

### **部分廠址外釋**

在一些不會對環境衝擊的部分地區，有在執照終止前先釋出的需求，但 NRC 目前無此規範，但在不久的將來計畫訂定這些規範出來。

## **2.9 低階放射性廢棄物 (LLRW) 管理**

LLRW 管理計畫是 Oyster Creek 電廠除役基本計畫之一，主要目標是確保所有產生的 LLRW 能夠安全、經濟、依照時程，且能符合州及聯邦政府政策、程序、執照等之要求。策略上則在預估的計畫費用內避免產生不必要的放射性廢棄物、處理費用。

LLRW 計畫開始於 1997 年，收集廢棄物樣式、體積、重量及廠址廢棄物含必要放射性核種庫存之歷史串列資料、依循 10 CFR 61 規定對廢棄物分類之量尺因素等。

### **化學除污**

系統除污計畫用來收集反應器一次、二次側系統之化學除污資訊；化學除污的主要目的是減少系統組件的劑量率，有效減少人員因移除組件、打包、裝運工作時之輻射曝露。

研發標案規範可對已考慮除污效率、廢棄物產生量及計畫費用等之化學除污程序標案作選擇；從最後一次充填燃料後之一次側組件取一些樣品，儲存起來，可作為未來投標者的測試樣品。

### **替代液體廢棄物處理**

替代液體廢棄物處理計畫是發展來確認及處理停止運轉前後產生的液態廢棄物所需要的處理動作，計畫包含：

- 目前在 Oyster Creek 的零液體排放的環境政策

- 公司的信譽，如果決定向外排放
- 向外排放的技術規範限制
- 潛在的放射性集中在排放管的沉積物堆積
- 公眾的認知和反對
- 工業經驗
- 當前系統的水處理能力
- 供應商系統的水處理能力
- 工廠停止運轉約 2,000,000 加侖的水庫存
- 減少由地面和雨水滲漏的方法
- 處理洩漏的方法來
- 減少廠廠停止運轉前庫存
- 放射性核種和活度，特別是氚
- 貯儲功能
- 總成本
- 合理抑低(ALARA)

計畫考慮下列處理方法：

- 製程使用現有的電廠系統或供應商提供的系統，活度減少到最低檢測活度（MDA），除氚和對外排放的放射性核種。
- 製程使用現有的電廠系統或供應商提供的系統，蒸發使用中電廠系統或供應商系統，透過電廠煙囪釋放。
- 散裝貨運的槽車到廠址外的廢棄物處理設施
  - 使用庫存的水彌補由於蒸發用過核子燃料池的損失。
  - 衰變儲存，以氚的半衰期為基準，處理到所有其他放射性核素 MDA，並向外釋放。

考慮並評估許多選項，決定選擇：用廠址現有或包商提供的設備處理廠址內的水，然後用這處理過的水作為用過核子燃料池因蒸發而散失的補充水；當用過核子燃料全部移除後的水則以熱源在合理抑低原則下來減容，其餘剩餘的水除了氙(超重氫)外可被處理到 MDA；已減容處理的水則送至廠外作廢水處理。

### **喪失低階放射性廢棄物(LLRW)處理能力**

決定立即拆除或除役核能電廠，具備有 LLRW 處理能力是很關鍵的；因此在作決定前必須先做好喪失處理能力時的評估並將之文件化；在 Oyster Creek 電廠除役中，LLRW 處理能力為一主要關鍵計畫基礎假設；Oyster Creek 電廠所評估之項目如下：

- 廢棄物的種類、數量和 NRC 廢棄物類
- 目前事件威脅目前處置場所的持續可用性
- 潛在的未來的廠址，包括商業和私人
- 廢棄物的種類、數量及廢棄物的類別分佈，廢棄物處理者和處理場所廠址
- 廢棄物量超過 Envirocare 的執照
- 被 Barnwell 拒絕接收，處理者繼續廢處置棄物，並折衷在於 Envirocare 處置
- 被 Barnwel 和 Envirocare 拒絕接收，處理者繼續處置廢棄物，並將退回的剩餘廢棄物減容來貯存。
- 貯存 – 廠址使用低階放射性廢棄物貯存設施
- 繼續找尋廢棄物處理者
- 評估結果是：若能有效應用廠外輻射廢棄物處理能力來儲存廠內的 LLW，則具備了足夠的能力。



## GTCC/高輻射金屬廠址內的貯存能力

為了因應 LLRW 處理廠在 1980 年關閉，Oyster Creek 電廠增加了廠址內的 LLRW 儲存能力；為了確認設備儲存能力，作了下列的評估：

- 目前的申請執照狀態、許可、申照和管制問題
- 設備的貯存配置、貯存容量、體積、重量、D&D 廢棄物對體積的劑量及退回廢棄物的劑量、重量、配置
- 服務設施前後的 D&D
- 修改和擴展
- 在 D&D 及 D&D 後的貯存成本
- 除役後的維護和檢查程序

## 低階放射性廢棄物(LLRW) 代理人

為了釐清聘用 LLRW 管理代理人和應用場內人員的優劣，做了下列事項的考慮：

- 廢棄物管理方法
- 特質和代理人資格
- 代理人的責任
- 業主/持照人的責任
- 申照問題
- 內部廢棄物管理的成本

優點與缺點為：

優點為：

- 代理人提供了一個放射性廢棄物管理單一的聯絡點
- 代理人在處理大量廢棄物、包裝的知識和運輸法規的經驗，現場直接參與的分類和隔離提供了潛在的更大的廢棄物管理效率和降

低整體處理成本的可能性。現場代理人的使用也消除了因為分類和材料包裝的類型不符合廢棄物處理者驗收標準，材料重新包裝及人員的輻射曝露。

- 代理人有大量來自多個廠址的廢棄物，代理人可以進行談判以取行較低整體費率定價。電廠擁有者可節約成本。
- 因為代理人利用自己的員工，可能實現較低的成本。這最小化等待從其他電廠工作群組支援的延遲，包括操作設備，例如卡車和鏟車。
- 代理人有其他設施大量廢棄物混合，以滿足 Envirocare 的執照限制的。這將最佳化運到 Envirocare 的廢棄物量，最小化地減少廢棄物運到 Barnwell 或退回產生者來貯存。
- 轉讓低放廢棄物整體管理成本相關風險給代理人

缺點為：

- 代理人的使用可能會導致電廠工會工作人員和承包商非工會工作人員之間司法糾紛，造成的停工、工期延誤和成本增加的。
- 因為代理人取得轉售權利和利益，廠址擁有者沒有獲得到轉售拆除廢棄物的充分利益。
- 如果代理人因不遵守處置現場的規定，廢棄物被拒絕進入處置場，廢棄物的運送可能會被推遲，因此影響了 D&D 的時程。
- 掩埋廠址的關閉會影響和改變代理人的工作範圍

### 放射性/混合廢棄物最小化

因電廠已正在除役，故放射性廢棄物量是不變的；在停止運轉前，電廠各階層的管理就必須推動放射性廢棄物減量。

計畫將 LLRW 管理要點文件化，對減少 LLRW 費用、人員輻射曝露劑

量及有效減少 LLRW 體積是很有幫助的；這些要點即是在 EPRI Solid Waste Management Guidelines TR-104583 所推荐的；計畫對現有廠址廢棄物減量、控制政策與程序均幫助很大。

### **混合廢棄物確認計畫**

寧可在電廠營運時，擁有廢棄物確認計畫及對廠內設備收集資料比在停止運轉後再收集資料來得好；這可以讓收集資料技術人員早點由營運轉至除役狀態 同時可以提早作除役經費預估。

### **大型組件移除**

移除大型組件式除役計畫中明顯的挑戰，下列是必須考慮的重點：

- 工業經驗
- 大型組件標準的定義
- 全部或部分移除的切割費用
- 廠址的細節，如起重、吊裝、人員出入、結構佈局
- 拆除期間和之後保持區域及建築的完整性
- 輻射的挑戰和人員的輻射曝露，ALARA
- DOT，NRC 包件類型、運輸和處置方法

### **廢棄物追蹤**

具備廢棄物追蹤系統來將廢棄物型式、體積、NRC 等級分類等文件化是很重要的，系統應考慮：

- Regulatory Guide 1.21 報告中需要提交的資訊
- 提供資料給管理監督
- 提供資訊給州區域協定委員會(state regional compact commission)
- 保持歷史資訊

- 資料可以用來建立目標和目的

## 2.10 用過核子燃料管理

考慮高階廢棄物長期儲存時須先確認用過核子燃料儲存池在停止運轉時是否具有足夠儲存所有用過核子燃料的容量；在 1996 年時，Oyster Creek 電廠並不具備此條件，原本計畫在 1996 年春天移轉燃料作乾式貯存，但因反應器廠房無法承擔 100 噸重的傳送護箱，故計畫被無限期延期；當 Oyster Creek 電廠規劃將停止運轉時，確認用過核子燃料儲存池具有足夠儲存所有用過核子燃料是首要工作；Oyster Creek 電廠 SFSP 的申照核准容量為 2645 束燃料束，現存放 2420 束燃料束，預計在 2000 年 9 月停止運轉時，所有必須存放在 SFSP 的燃料束共有 2645 束；為了配合除役計畫，GPU 核能公司提出了執照修正需求，希望在 SFSP 增加 390 束的容量。

### 用過核子燃料管理選項

在宣佈 Oyster Creek 電廠將於 2000 年九月除役後，用過核子燃料長期儲存變成優先處理事務；除役人員考慮一些方案，包括濕式貯存、廠內乾式貯存、廠外乾式貯存或混合方案。

### 廠址內中期濕式貯存

用過核子燃料貯存池在技術上已被證明能夠安全地儲存放射性燃料；然而，若在 BWR 除役期間之過渡時期將用過核子燃料儲存在用過核子燃料貯存池中，將妨礙用過核子燃料貯存池、反應器廠房及燃料處理廠房之拆除工作；無論是過渡時期或永久儲存，拆除工作及廠址釋出將變成非常依賴能源部門來接收用過核子燃料。

### 廠址內中期乾式貯存

除了擴充用過核子燃料貯存池的貯存容量外，另可藉由乾式貯存 ISFSI

(Independent Spent Fuel Storage Installation)的方式來增加廠內的用過核子燃料貯存容量；ISFSI 的設計涵括兩個目的，一為能將所有用過核子燃料從貯存池中移出，另一為可以在廠址內貯放用過核子燃料，並放置 40 年以上；現有廠商並無針對 C 等級以上之核能廢棄物作廠內儲存的設計，C 等級以上之核能廢棄物之廠內乾式貯存 必須針對個別廠址提出申請並獲主管單位核准。

### 廠址外中期乾式貯存

廠外過渡時期儲存設施可以使用雙重目的儲存裝置來儲存用過核子燃料而不須建構廠內設施；現在正在發展兩種設施及執照審核，這些設施將提供廠內濕式或乾式貯存；若使用改良式雙重目的儲存裝置，放射性燃料可被包裝、以軌道運送，並可以作過渡時期之儲存；C 等級以上之核能廢棄物貯存也不須申請執照，只須要求貯存場具有過渡時期之貯存執照即可。

### 長期貯存

所有的放射性用過核子燃料及 C 等級以上的核能廢棄物之貯存是能源部門的責任；在 Nuclear Waste Policy Act 上，國會指導能源部將廠址設於 Nevada 州之 Yucca Mountain；在 Office of Civilian Radioactive Waste Management 管理計畫目前之進度表中，長期貯存將從 2010 年開始；進度表並不包含運輸要點或允許介入的時間。

### 濕式對乾式- 優點及缺點

下列每個選項均已以費用、時程、系統可用性、廠址相容性及風險性等詳細評估過：

### 廠址內中期濕式貯存

維持廠內濕式貯存在技術上是可以完全信任的，也可以節省乾式貯存須建構水泥護箱、密封鋼筒和廠內 ISFSI 的費用；但對 Oyster Creek 電廠

來說，並無此項益處；因為必須等待能源部接受所有用過核子燃料及 C 等級以上的核能廢棄物後，電廠才能拆除；而維持 SFSP 及相關系統的費用蠻高的；建構廠內 ISFSI 及相關設備初期的費用是稍高些，但廠內若以濕式貯存將可能必須維持 20~30 年，則 SFSP 及相關系統的維持費用就會變得很貴；Oyster Creek 電廠預估 SFSP 及相關系統的維持費用約為每年 600 萬美元。

### 廠址內中期乾式貯存

廠內乾式貯存可以讓業主立即開始廠內拆除工作；開始的建構成本蠻高的，大約每一用過核子燃料束為 10~15000 美元，然而長期的維持費用則相對的低廉很多，Oyster Creek 電廠預估每年約 220 萬美元。

乾式貯存的 ISFSI 執照可以在驗證過一致性後，使用電廠的通用執照或根據 10 CFR 72 申請特定廠用執照；使用電廠通用執照的好處是只要電廠符合一般執照的需求即可，並毋須向 NRC 申請核可，但仍然要遵照 10 CFR Part 50 之規定，將燃料放置於場區內；若根據 10 CFR 72 申請特定廠用執照，則此特定廠用執照將在完成拆除及廠址釋出後，中止廠內的 10 CFR Part 50 執照；因此，申請特定廠用執照有可能因搬移燃料延後而受延遲。

### 廠址外中期乾式貯存

選擇私人的燃料貯存場可以將用過核子燃料運離廠址，作長期的貯存並可加速廠址釋出的進度，並不需要花費建構 ISFSI 等費用，且長期的貯存費用也被預估比廠內貯存的整體費用來得低廉；Oyster Creek 電廠預估將用過核子燃料運離場區約需時 10 年，可在停止運轉後 3 年開始進行；為了加速的廠址釋出，Oyster Creek 電廠考慮使用通用執照來建構廠內乾式貯存的小型 ISFSI，同時將用過核子燃料搬移離廠，如此可以讓 Oyster Creek 電廠在停止運轉後 6 年內將所有用過核子燃料從用過核子燃料儲存池移

出；然而，採用廠外過渡貯存方式的缺點是無法取得用過核子燃料的貯存執照；預估在 2001 年，私人的燃料貯存場 LLC 將取得第一張過渡時期的貯存執照，並於 2003 年完成設置，開始營運；然而，即使該貯存場已經可以運用，運送用過核子燃料的工作也必須規劃，目前較被認可的方法是採用鐵路運輸。

### **乾式貯存配套的相關問題**

#### **沈重的負載問題**

如前所述，Oyster Creek 電廠暫停包商原本提出的用過核子燃料移轉計畫不僅是因為包商的問題，另一原因是考慮反應器廠房內傳送護箱的重負載；隨著 NRC bulletin 96-02 的發行，Oyster Creek 電廠無法達到失電時仍能維持負載的要求；Oyster Creek 電廠是極少數仍在運轉，而其反應器廠房吊車不具有單一失效保證；除此之外，反應器廠房吊車能力為 100 噸，而所有雙功能護箱系統之重量則超過 100 噸，因此，電廠也需要提昇吊車的能力。

#### **用過核子燃料貯存池的隔離**

電廠也是要考慮如何來隔離用過核子燃料儲存池，例如要處理燃料儲存池內之控制棒葉片、燃料支撐架、儀器導管及導引管等具有放射性之硬體。

#### **破損或損壞燃料**

NRC 對破損燃料的定義是：任何燃料束之護套具有已知或懷疑的缺陷或破洞；損壞燃料的定義是：用過核子燃料具有碎片、顆粒、遺失燃料丸、片段的燃料棒、束、而輻射劑量每束超過 20 curies。

在 Oyster Creek 電廠內，超過兩百束之用過核子燃料束被認為是破損的；在最後停止運轉前，每一破損之用過核子燃料束均需檢查並包裝，這

個動作透過先行規劃，並在傳送及貯存燃料儲存池內具有放射性的物件之前完成。因為已先行確認所有用過核子燃料束具有完整性，因此，此設施具有發展全部用過核子燃料束最佳裝載計劃的優勢。

## 2.11 社區和員工的溝通

當電廠停止運轉開始除役，觀眾需要與運轉時同樣地信賴電廠；若有無效的溝通，將可能在除役過程中任何階段引起明顯的阻礙。

近三十年來，Oyster Creek 電廠和員工及社會大眾已培養並已建立堅強的溝通成效；雖然如此，但電廠提前除役的決定宣佈時，原溝通方式須再評估且需另外建立溝通計畫。

### 溝通計畫

- 溝通計畫的目的很簡單
- 增加公眾了解除役計畫，減少注意並獲得支持
- 增加員工了解除役計畫，期望在公司目標會議上獲得主動支持
- 預先對除役計畫規劃提供溝通管道並藉以順利轉成除役的組織

在起草該計畫的一個主要元素確定的潛在除役的關鍵問題，包括以下內容：

- 觀眾不明白的的除役過程及其影響。
- 關閉 Oyster Creek 對經濟的影響。
- 員工必須能夠及時和準確的資訊。
- 低階及高水平放射性廢棄物問題，包括貯存和運輸。
- 廠址的未來將如何使用？
- 輻射釋放對健康的影響。
- 在除役計畫過程中的公眾參與。



- 公眾對 GPU Nuclear 的信任。
- 計畫成本 - 資金來源。
- 除役的方法。
- 最終址外釋標準。
- 目前廠址的放射性/非放射性污染。

一旦關鍵議題建立後，一些主要訊息即可建立；這些訊息將可使用在不同對象的所有溝通場合上：

- 除役不會釋放明顯的放射性量到環境中。
- 除役對健康不會造成不良影響。
- 存在安全地工作的技術。
- 其他除役計畫已安全地完成。
- 持續對環境的承諾。
- 告知公眾有關的主要活動。
- 在計畫期間，公眾將擔任顧問的角色。
- 及時告知公眾任何問題。
- 可以信任 GPU Nuclear 安全地作業。
- 足夠的資金完成計畫。
- 即刻的拆除是安全和經濟的。
- GPU Nuclear 有專業知識和經驗來安全地及有效地完成工作。

確認主要溝通對象也是很重要的，基本上如在正常運轉時，即與公關部門有密切關係的相同社團或族群，如：

- 區域居民
- 員工，包括承包商

- 地方、州、聯邦政府官員
- 媒體
- 商業和意見領袖
- 主管機關
- 教育工作者和學生
- 特殊利益集團
- 核電產業

### **溝通工具**

下列物件為實體物品，均為人們手上可獲得之物，許多工具可重複的溝通信息，並可在除役過程的不同時期，聚焦於不同的主題，不但可有效的導引至前述之議題並可像傳播工具般的傳送主要訊息。

出版品：

- 外部通訊
- 內部通訊（包括電廠的員工每週時事通訊）和“快訊”或“特別版”）
- 小冊子，特殊的出版物
- 專業刊物的文章

公眾意見調查

影片

### **公眾的參與**

在除役期間，不降低對公眾溝通的密切關係與努力，是非常重要的；事實上，為了配合所有急欲了解除役進度的族群、組織與個人，努力程度

應該逐步提昇。

因此，為了反應除役現況，應該努力辦一些相關活動：

- 小組會議/公共論壇/開放建築物
- 旅遊
- 講師團
- 持續的成員參與各種公民組織/社區組織
- 為教育工作者的特別節目
- 教育中心展示除役
- 有關除役特別的參訪和方案
- 協助區域教育工作者建立除役相關的課程

從 Saxton Case Study 得到的一個成功範例是成立公民專責小組 (Citizens Task Force, CTF)；最好的方法就是主動積極的取得與除役計畫有關係的人員的支持。

CTF 為社團代表所組成的協會，將經常與公司交流；協會將提供有停止運轉址由運轉至除役之轉換期間議題的回應、意見與建議，這是一個很棒的雙方面溝通的方式，因為為了更有效率，公司必須接受協會的意見與建議。

Oyster Creek 電廠所成立的 CTF 成員包括：

- 官員
- 商業和社區領袖
- 教育工作者
- 宗教領袖
- 鄰居

- 環保團體代表

### 與員工的溝通

員工通常為任何組織的代表；在核能電廠內，他們也是完成除役繁重工作的個人；Oyster Creek 電廠的員工經由下列的方式了解到有關除役的相關訊息：

- 通訊文章，準備實際除役的特點
- 頻繁的員工會議提供除役、組織和人員編制規定的資訊
- 除役時開始時的特別員工通訊
- 在除役過程中定期的員工會議
- 除役管理層與員工的小團體討論除役程序。

## 2.12 經驗學習

從 Trojan, Rancho Seco, Dresden I, Yankee Rowe, Connecticut Yankee, Maine Yankee, Big Rock Point and Saxton 汲取除役經驗，但因電廠狀況不同，本 Case 為仍營運中之電廠且已預定除役日期，在運轉中同時規劃未來除役等之相關工作。

### 管理

電廠除役計畫應在最後停止運轉前即開始，這可節省可觀的除役經費；因可明確預估之固定的除役經費，對於買主接手電廠並作為契約條款時可提高買方意願；若須由買家評估並可能要尋求政府基金支援無法預期的額外除役費用，將不會是可能買家的選項之一。

由運轉至除役間之理想規劃時間，約需 2~3 年；由附件一之第一階段時程模型顯示，使用了 30 個月來準備必要的計畫計畫、策略、技術與工程

事務及管理上的建議。

為了管理除役計畫等事務，須有專責職員並成立專責單位；在 Oyster Creek，約有 8~10 人之獨立小組，直屬工程副主管；獨立的單位與人員可以不干涉電廠事務而確保電廠運轉時之安全與可靠度；在除役計畫推展時，除役主管告知並透過電廠主管除役相關事務且藉其提供並搜集相關資料。

在 Oyster Creek，除役計畫允諾延用原廠人員並提供員工長期工作機會，使得電廠得以維持由運轉至除役期間所需之運轉操作人員。

持續關注『人員』問題；當停止運轉之訊息公佈後，為了尋求長期的工作機會，人員間的磨擦將會急遽升高；若離職人員數過多，將會影響電廠操作；而能保留員工至停止運轉時的主要關鍵方法是『員工留用計畫』，最好是與停止運轉訊息同時或在隨後極短時間內公佈；在 Oyster Creek，1997 年 4 月公告停止運轉訊息，1997 年 7 月公告『員工留用計畫』，三個月內共有 77 人離職；隨著『留用計畫』訊息之傳播，整個除役計畫期間之人員間磨擦降低至正常值並維持在低檔。

及早計畫電廠人員從運轉至除役之電廠文化適應，而對人員作適當的除役技能訓練與轉換電廠文化同樣重要。

對一個大型商業用反應器作除役，是約需要 6~10 年的漫長過程，為了預防可能會影響進度的變化，偶然性出現的計畫也是整個計畫過程中正常進行之事務，如 Closure of LLRW facilities, 用過核子燃料處置及那些沒被估計在內的狀況。

### 申請執照

有關除役文件：機後除役作業報告、永久停止運轉之聲明書、永久移空燃料之聲明書、燃料處理程序認證計畫、保險豁免、緊急計畫豁免請求/

燃料移除緊急計畫等，雖需要時間準備，但只須在最後停止運轉前約 8~12 個月之準備時間即可。

而有關燃料移除技術規範、燃料移除安全分析報告、燃料移除品質保證計畫、安全計畫的豁免請求/燃料移除安全計畫等除役必備文件之最後草稿，須在其他除役活動啟動前即須備妥；故這些文件準備工作應在最後停止運轉前 30 個月即開始進行。

### **工程**

支援除役之設計基礎工作，如活化分析、意外分析、低放廢棄物規劃等，可透過設備小組人員以競標方式由包商協助完成。

為配合除役工作所作的廠址修改概念設計，可委由一般操作人員負責，在最後一次填充燃料後開始，而在最後停止運轉前完成。

在最後停止運轉前對工程程序的再設計，並無助於除役工作；而停止運轉前並無建立新工程程序書之需要，而且以管理角度看，雙程序書並不是被支持的方案。

### **廠址外釋**

對廠址設備作輻射及工業污染的歷史評估確認是必要的，可依循 10 CFR 50.75(g)規定之要求在操作期間即開始進行；若現場無法配合，至少也須在除役規劃期間早一點開始進行。

藉由廠址歷史評估資料可讓廠址特性調查計畫(Characterization Plan)最佳化，在充份研讀相關資訊後，才需要對特定區域作細部的勘查以收集細部資料。

從建築及結構物開始，以水文、地層、建築物構造歷史等廠址環境資訊，來評估釋放的潛力。

### **用過核子燃料**

評估吊車及地面負載是否能承受沈重負載，請供應商提供許多不同設計及其重量，並須評估提升吊車容量與採用較輕護箱間之經濟性。

廠址選擇與早些獲得社區同意是基本事務 若無社區居民支持，在運送燃料時將會遇到阻力與延遲。

### **溝通**

若在運轉期間尚未成立，則應成立居民工作隊；雖然有部分居民善於與電廠溝通，但除役工作是不熟悉且與社區是息息相關，包括對社區商業的衝擊，增加的交通量，從電廠運出大量材料等等；成立居民工作隊則允許居民取得相關的資訊，方便於工作的推展。

## **2.13 附件**

附件一：除役計畫第一及第二階段

附件二：Oyster Creek 除役技術規劃組織

附件三：除役計畫規劃

附件四：除役時程





Attachment I

**DECOMMISSIONING PLANNING**

**PHASE II**

Quarters (15 Months)

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|

**Shutdown**

**Transition to  
Phase III**

**Management:**

- Site Characterization

- DOC Mobilization

- Transition to Phase II Staffing Complete

- LLRW Broker Mobilization

**Plant Modifications/Process**

- Procedure Revisions complete.

- Modifications Installed 30 days post shutdown to one year; e.g.

- Major D&D Work Packages Complete

Modified Work Process in place.

**Regulatory Requirements**

Submit:

- Cert. Of Fuel Removal

Submit as necessary:

- Revised Security Plan

Submit:

- Spent Fuel Program

Implement:

- TS Changes

- QA Plan Changes

- Revised TS\*

- Revised DSAR

- License Termination App.\*

- Reduced Insurance

- EP Changes

- Security Changes

- Ops Requal & Staff Program

\*Requires  
NRC Approval

**Spent Fuel Management**

- Core Offload Complete

- Procure Dual Purpose System Hardware

- Commence Work Package Development for Fuel Transfer

- ISFSI Construction

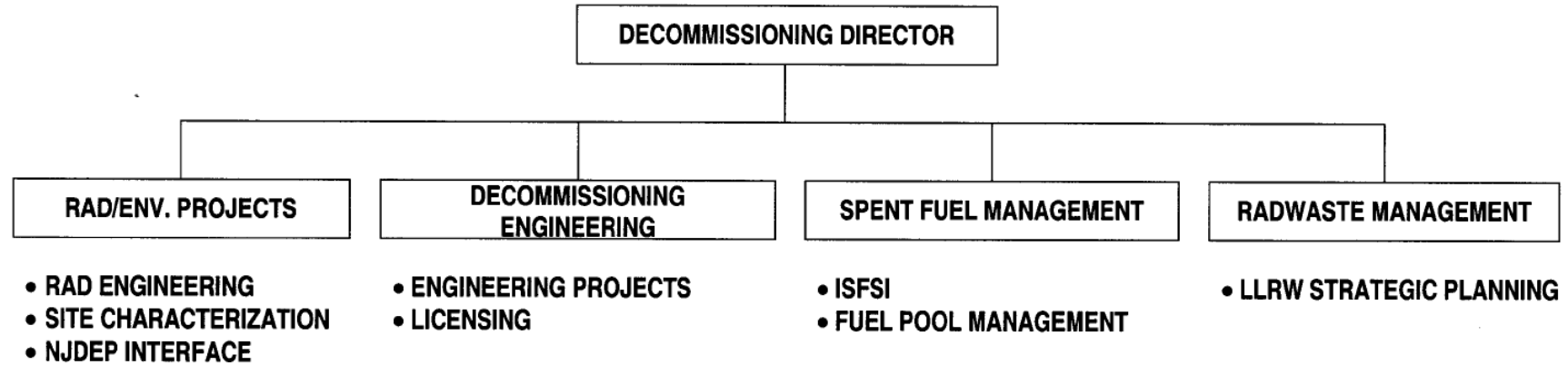
- Disposal of Irradiated Hardware

- Commence Refuel Large Component Removal

附件二：Oyster Creek 除役技術規劃組織

Attachment II

# Oyster Creek Decommissioning Technical Planning Organization



### 附件三：除役計畫規劃

#### DPP-01 除役戰略計畫 Decommissioning Strategic Plan

描述除役關鍵假設及決定，基本情況進度表，現金流和策略的整體戰略計畫。

#### DPP-02 除役戰術計畫 Decommissioning Tactical Plan

提供主要除役戰略的實施詳細的資訊。

#### DPP-03 除役組織與人員計畫 Decommissioning Organization and Staffing Plan

描述的的除役計畫組織和說明關鍵組織成員的義務和責任。

#### DPP-04 廠址特性調查計畫 Site Characterization Plan

描述完成 OCNGS 廠址放射性特性調查的總體規劃包括活化分析。

#### DPP-05 溝通計畫 Communications Plan

描述適用於 OCNGS 除役的準備和進行重要的溝通要求。建立除役準確和有效的資訊溝通的職責和責任。

#### DPP-06 除役監督計畫 Decommissioning Oversight Plan

建立和設立個人選出的諮詢委員會，由高層概觀的角度來審查除役活動。該委員會向除役主管報告。

#### DPP-07 除役整合時程計畫 Decommissioning Integrated Schedule Plan

該計畫提供了總體規劃，建立除役整合的時程。包括在時程安排的主要內容如下：關鍵決策、程序、計畫和方案、修改和成果。

#### DPP-08 除役申請許可計畫 Decommissioning Required Permits Plan

這個計畫的目的是發展瞭解在除役過程中所有聯邦、州和地方要求的許可，以確保正確認清這些許可並整合於工作規劃功能。

#### DPP-09 除役經費預估 Decommissioning Cost Estimate

該計畫描述發展的 Oyster Creek 特定廠址的成本估計。

#### DPP-10 環境報告計畫 Environmental Report Plan

提供審查和更新的 OCNGS 環境報告書。

#### DPP-11 用過核子燃料儲存池隔離計畫 Spent Fuel Pool Isolation Study Plan

開發修改的用過核子燃料水池和輔助系統、結構和組件的要求。包括隔離用過核子燃料水池所需的項目及活動，並最大化反應器廠房除役活動。

#### DPP-12 除污及拆除計畫 Decontamination & Dismantlement Plan

支持 DPP's，此一計畫發展一系列的電廠系統和結構的除污和拆除計畫。

#### DPP-13 除役支援系統確認計畫 Decommissioning Support Systems Identification Plan

此計畫確認支援除役工作範圍內，所需要現有的和新的系統的作為。

#### DPP-14 除役電力需求計畫 Decommissioning Power Study Plan

計畫確定除役和用過核子燃料貯存的電力需求。對 D&D 解除了大部分現有工廠的電氣系統的需求。

#### DPP-15 系統除污計畫 System Decontamination Study Plan

計畫評估反應器冷卻劑系統和相關支援系統的化學除污的要求，以達成滿足 GEIS 除役活動的行為曝露要求的輻射等級。

#### DPP-16 低階固體放射性廢棄物計畫 Low Level Solid RadWaste Plan

除役過程中產生低階固體放射性廢棄的物料進行處理、包裝和運輸的方法。

#### DPP-17 訓練需求計畫 Training Requirements Plan

定義永久停止運轉後用過核子燃料貯存期間需要在廠址的操作員訓練要求。

#### DPP-18 除役意外分析計畫 Decommissioning Accident Analysis Plan

本研究發展廠址內除役活動可靠事故必要假設的幅度

#### DPP-19 緊急預備計畫 Emergency Preparedness Plan

此計畫評估和發展轉換運轉的電廠到除役的電廠緊急規劃的要求。

#### DPP-20 維修規範、程序方案修訂計畫 Maintenance Rule Program Revision Plan

此計畫定義永久停止運轉和從反應器燃料永久移除後維護規則的改變

#### DPP-21 保安方案計畫 Security Program Plan

此計畫定義在電廠過渡到除役模式之後保安方案要求的變化，

#### DPP-22 品質保證計畫 Quality Assurance Plan

此計畫的發展適用於除役期間的品質保證。

#### DPP-23 防火方案修訂計畫 Fire Protection Program Revision Plan

此計畫確定的防火保護方案的修訂將適用除役期間的電廠。

#### DPP-24 除役程序及作業計畫 Decommissioning Process and Activities Plan

此計畫的發展用於達成除役活動的程序和步驟。

#### DPP-25 系統品質分類計畫 System Quality Classification Plan

此計畫的發展重新分類系統，從核能安全相關的非 QA 和/或增強的 QA 分類方法。

#### DPP-26 除役工程程序書 Decommissioning Engineering Processes

此計畫詳細介紹了用於電廠的除役和拆除工程程序。

#### DPP-27A 人員文化轉變程序計畫 Personnel Cultural Transition Process Plan

此計畫將促進和安排的各種方法，以達到所需發生在第一階段除役和第二階段除役及從第一階段到第二階段的除役的文化轉型和模式的轉變將。

#### DPP-27B 人員轉變文化程序計畫 Personnel Transition and Culture Process Plan

此計畫的協調並改善從各種來源的輸入，目標建立除役的規劃和執行自始

至終人員的需求、必要的員工數量、具備適當的資格和才能，並在合適的位置，而且人員轉換順利且有效率達成，不會對除役運作產生負面影響的方式。

#### DPP-28 停機後除役作業報告準備計畫 PSDAR Preparation Plan

此計畫確定和協調產生 Oyster Creek 停止運轉後除役作業報告所需要的所有輸入。這份報告是一個開始除役和獲得除役信託基金的行為重大除役活動相關的主要活動。

#### DPP-29 除役申照需求計畫 Decommissioning Licensing Requirements

此計畫確定及發展支持除役所需要提交管制的文件

#### DPP-30 UFSAR 更新計畫 UFSAR Update Plan

此計畫的發展除役安全分析報告，在除役期促進最大化利用 10 CFR50.59 中程序。

#### DPP-31 反應器壓力容器移除計畫 Reactor Pressure Vessel Removal Plan

此計畫研究除役期間拆除反應器壓力容器的各種選項。

#### DPP-32 危險廢棄物計畫 Hazardous Waste Plan

此計畫發展危險廢棄物盤存和詳細的處置方法。

#### DPP-33 除役輻射曝露預估計畫 Decommissioning Exposure Estimate Plan

此計畫利用來自 DPP 的輸入開發評估 OC 除役各方面的輻射曝露要求。

#### DPP-34 除役職業安全計畫 Decommissioning Occupational Safety Plan

開發並詳細介紹了適用於除役活動職業安全計畫的要求，。特別注意的是拆除和拆遷類型的活動，伴隨此類型相關的工作範圍獨特的安全方案挑戰。

#### DPP-35 低階液體放射性廢棄物計畫 Low-Level Liquid Radwaste Plan

除役期間產生的低階液體放射性廢棄物詳細的處理處置方法。

#### DPP-36 反應器壓力容器裝運計畫 Reactor Pressure Vessel Shipment Plan

此項研究說明反應器壓力容器處置的裝運方法。看起來可能選擇鐵路裝運及駁船裝運。

#### DPP-37 包商選擇與資產回復計畫 Vendor Selection and Asset Recovery Plan

此計畫提出必要的活動，以公開招標選定超越現場工作小組能力的除役工作的範圍。

#### DPP-38 保險免除計畫 Insurance Exemptions Plan

此計畫確定電廠運轉狀態過渡到除役及之後的各項保險調整期間。

#### DPP-39 執照終止計畫 License Termination Plan

此計畫協調 Oyster Creek 執照終止計畫的準備工作。計畫必須在預期執照終止兩年之前提交。

#### DPP-40 除役臨時可能事件計畫 Decommissioning Contingency Plan

建並說明如果 OCNGS 出售給 AmerGen 的臨時可能及如果不出售的臨時可能事件計畫。

#### DPP-41 除役財務與管理督導計畫 Decommissioning Financial & Administrative Plan

制定和描述除役計畫的控管功能，如預算、時程和其他行政要求。

#### DPP-42 工業廠址回復法的計畫 Industrial Site Recovery Act Plan

此計畫確認並協調符合 New Jersey 工業廠址回復法 (Industrial Site Recovery Act, ISRA) 的要求。

#### DPP-43 除役任務、目標、策略與效率指標計畫 Decommissioning Mission,

此計畫確定的各項性能指標，如安全、預算，合理抑低，放射性廢棄物的管制等，除役組織可進行效能評估。

#### DPP-44 除役人員訓練計畫 Decommissioning Personnel Training Plan

此計畫確定除役組織以安全、高效地完成除役工作範圍的要求，所需要的例行业和專業訓練。

#### DPP-45 10CFR50.59 安全回顧程序書 Safety Review Process 10CFR50.59

此計畫的詳細說明在除役期間會應用 10 CFR50.59 的程序的方式。

#### DPP-46 衝擊、議題、與除役承諾 Impacts, Issues, and Commitments Relating to Decommissioning

此計畫提供除役組織一個機制，識別和安排議題並加以承諾，這可能會影響除役。

#### DPP-47 最後停止運轉前之操作與維修策略 Strategy for Operations and Maintenance Activities Prior to Final Shutdown

此計畫確定提前通知永久停止運轉停止運轉之前可以修改或刪除運轉和維護活動。此計畫還評估了除役問題和其他公用設施的準備，因為這涉及到 OC 除役計畫。

#### DPP-48 用過核子燃料策略 Spent Fuel Strategy

The purpose of this plan is to fully evaluate the companies spent fuel options in terms of decommissioning.

這個計畫的目的是全面評估公司在除役期間用過核子燃料的選擇。

#### DPP-49 大組件移除計畫 Large Component Removal Plan

該計畫確定大型組件的完整移除、運輸和處置的範圍。

#### DPP-50 程序書複查計畫 Procedure Review Plan

此計畫將提供由運轉週期的所需的程序書過渡至除役期間所需的程序書之基礎。會審查替代程序書結構。

#### DPP-51 技術規範 Technical Specifications

此計畫描述修改技術規範的程序，以反映設施中永久移除燃料的情況。



## DPP-52 除役過程整合委員會(DPIC)電廠售後報告 DPIC Post Sale Report

### DPIC-PSR

計畫文件的成果為，成立除役過程整合委員會（DPIC）審查、修改和整合程序與除役活動相符。

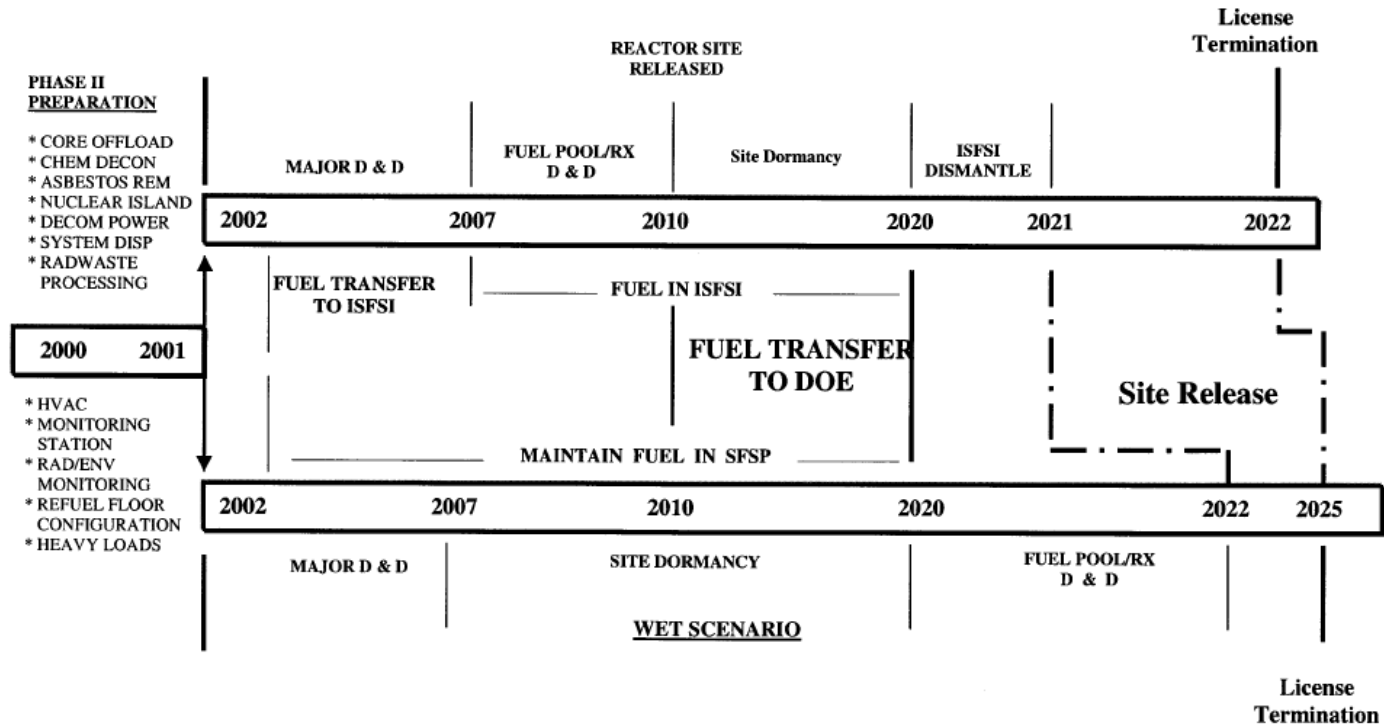
附件四：除役時程

ATTACHMENT IV

**DECOMMISSIONING SCHEDULE**

**PHASE III  
DECONTAMINATION & DISMANTLEMENT**

DRY SCENARIO



## 3 Maine Yankee 除役經驗

### 3.1 簡介

本篇研究報告為 Maine Yankee 除役計畫成功經驗，2005 年初 Maine Yankee 核電廠已完成大部分必需的除污和整治工作，2005 年 10 月結束全部除役計畫，為了將來的除役計畫能夠獲取必要的經驗，在除役的最後階段，EPRI 綜合整理了核電廠除役的經驗，提供經驗及借鏡給未來將除役的核電廠。

報告中描述了過渡期的活動、除役承包商的選用、用過核子燃料貯存、與主管機關和利害關係者的互動、工程及技術的使用、廠址關閉議題等...，這些議題都是除役的過程中會遭遇到且無可避免的。

EPRI 發展及出版一些除役相關值得借鏡的文件和研討會議題。這些值得借鏡的文件和研討會議題，提供最終將除役反應器設施健全的參考基礎。許多這些經驗報告和研討會的發展，結合了現今美國核電廠不同的除役階段。

截至 2004 年，這些反應器設施許多已完成了大部份所需的除污和整治，並預期在短期內有除役計畫完整結果。根據目前公布或提交的執照延期申請，至 2020 年，美國只有再 5 個反應器將進入除役，且到 2011 年前，將不會有任何一個核電廠預計關閉。

為了將來除役計畫能獲得更多必要的經驗，EPRI 開始了先行工作，收集從當前廠址除役後期選定的詳細資訊。由收集清單中的“重要資訊”逐漸展開。附錄 A 提供初始清單的項目。為了驗證這個清單，分別地從兩個目前正處於除役階段的設施，要求他們評價、分類資料的議題對未來除役計畫的相對效益。

有趣的是，注意發展初期清單的“重要資訊”的預期成果將著重於詳細的除役活動的計畫規劃、時間表、工程分析或類似的“具體細節”。

這類任務，當然必需有效及高效率地除役。然而，有第二層的資訊，會顯著地影響除役計畫的能否高效率地進行。此資訊領域，即所謂的“軟領域”，包括利益相關者的互動、與主管機關互動、計畫決定的方法（例如，是否使用除役作業承包商、濕式或乾式的用過核子燃料貯存、或是除役的方法）。因此，獲取的資訊是硬的計畫資料和那些“軟”任務，影響整體除役計畫的有效進行。

Maine Yankee 核電公司（MYAPC）同意成為此項先行試驗的詳細經驗報告的主辦廠址。為了收集已識別的詳細資訊，於 2004 年 10 月在 Maine Yankee 廠址和公司辦公室進行了現場會談。在 2004 年 11 月進行了補充的電話採訪。受訪者包括主席兼執行長、副總裁兼首席核電技術長、財務長、法規事務經理、公共事務經理、廠址除役經理、工程經理、輻射防護經理和選定的工作人員。除了訪談，（MYAPC）員工提供了部分文件，此外從其他來源收集資訊。在第 10 節提供使用資訊來源的的綜合整理。

MYAPC 員工除了描述特別的除役經驗外，還提出一些基於其除役經驗可能對目前仍在營運的核電廠，及未來準備興建的核電廠有用的問題。本報告中還提供了這些他們察覺問題。

本報告其餘部分提供 MYAPC 除役計畫的簡短摘要，接續為訪談成果和文獻回顧以下為其個別的主題：

- 停止運轉前的議題
- 過渡期的動作
- 除役作業承包商的使用(DOC)
- 燃料貯存的選項

- 主管機關和利害關係人之互動
- 工程和技術的使用
- 廠址關閉的議題

以下各節從一個由 Maine Yankee 除役過程可資借鏡之簡短清單開始。此外在附錄 F 中提供一張特別的清單，提供營運中的核電廠建議，這將改善未來除役的效率，這份報告包含其他項目如下：

- 附件 B 中提供了一個綜整的計畫進度表；
- 附件 C 為計畫的時間表；
- 附錄 D 每一項重要任務輻射暴露值的綜整；
- 附件 E 中裝運放射性和非放射性廢棄物綜整；

### **Maine Yankee 概述**

Maine Yankee 的擁有者為新英格蘭的 10 個電力公用事業聯盟，這代表著消費者在緬因州、新罕布什爾州、佛蒙特州、馬薩諸塞州、康涅狄格州和羅得島州這些地方。Maine Yankee 核電廠佔地 820 英畝坐落在 Maine Wiscasset，為一個機組三迴路壓水反應器，額定熱功率為 2700MWt 和電功率為 860MWe。該反應器是由 Combustion Engineering 所設計，Stone & Webster 負責建廠。

以下五個圖提供廠房的位置以及廠址的佈置

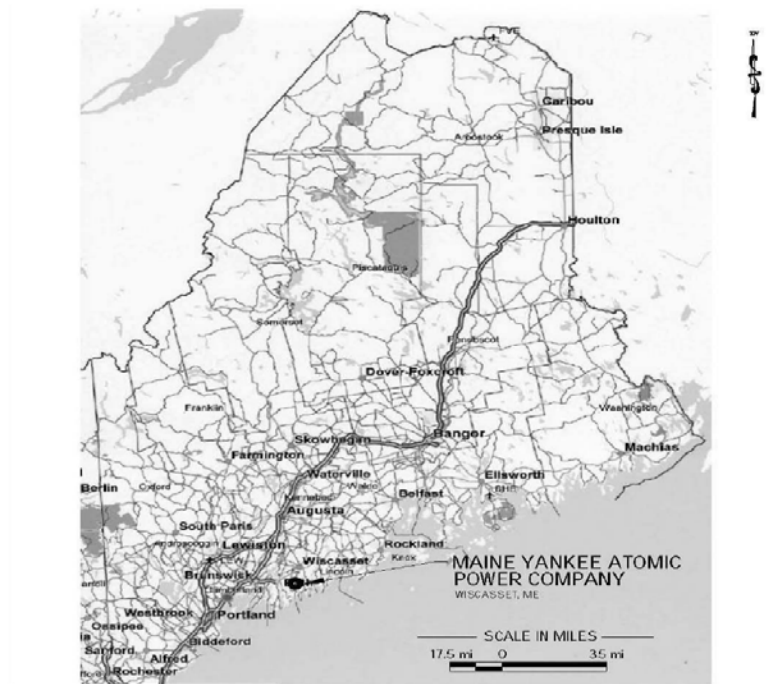


圖 3-1 Maine Yankee 在 Maine 州的位置圖

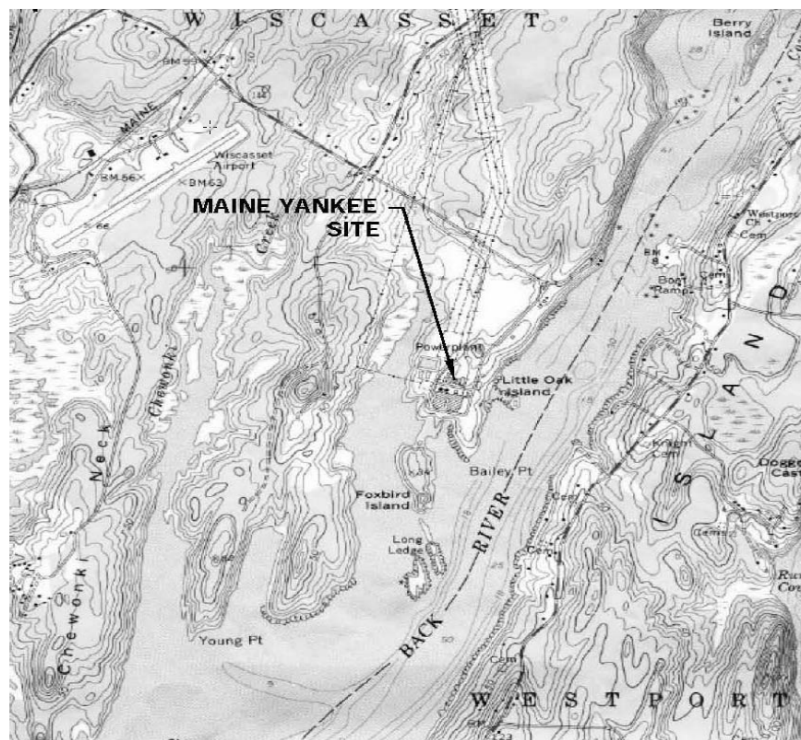


圖 3-2 Maine Yankee 區域位置圖





圖 3-5 Maine Yankee 空照圖 2

### 3.2 停止運轉前議題

#### 借鏡/建議

- 如果永久停止運轉是按計畫發展，停止運轉前的作業應在停止運轉前約一年之前確實開始執行，包括組成廠址及公司的專業團隊、申請執照專家、利益相關者的互動、工程及計畫管理、財務分析、會計和預算編制，保健物理/輻射防護和人力資源。

#### 停止運轉的決定

Maine Yankee 的建廠執照於 1968 年 10 月 21 日發出。1972 年 9 月 15 日發出的營運執照，允許操作最高達 75% 額定熱功率。1972 年 12 月 28 日，該電廠開始投入商業運轉。1973 年 6 月，電廠收到的全功率運轉執照，最高達 2440 MWt，相應的約 774 MWe。運轉執照之後修訂之允許運轉至 2700 MWt。此功率約淨 931 MWe 電力輸出。



在 20 世紀 90 年代中期，Maine Yankee 遇到的各種操作和法規管制上的難題。1995 年，電廠幾乎整年關閉，為了修復蒸汽產生器管。Maine Yankee 因各種問題於 1996 年 12 月 6 日最後一次關閉，這些問題包括不適當的電纜分離、更換洩漏的燃料棒以及需要檢查電廠的蒸汽產生器。這次停止運轉，預計將至少持續到 1997 年 8 月。

基於這樣的歷史，董事會主導了 Maine Yankee 電廠未來繼續運轉的可行性經濟評估。

1997 年 5 月，董事會宣布，因經濟因素的考量和基於電廠運作的不確定性，Maine Yankee 考慮永久停止運轉。董事會還探討了出售電廠的可能性。

1997 年 7 月 30 日，最終的經濟評估結果提供給董事會成員。這份報告指出，分析中雖然有諸多變數和不確定性因素，發現影響電廠的經濟因素的主要為：

- 替代電力的預期市場價格;
- 核電廠的使用壽命;
- 機組的平均容量因子;
- 單位的變動營運成本 (如果決定關閉電廠此成本可避免)，除役費用的時間點和金額
- 預計重新啟動的日期。

經濟評估有幾種方案，正在評估三個主要的選擇方案。第一個辦法是立即進入除役，這將使營運成本最快減少。第二個選項是提供資金，以保留廠房數個月以便出售或重新啟動。最後一個選項是重新啟動，這在當時已經有實質性進展，目標為 1997 年 11 月重新啟動。

經濟分析綜整得出以下結論：

- 參考案例的假設（假設電廠的運轉至其執照年限），會對 Maine Yankee 的客戶產生些微的淨現值（NPV）的利益。
- 參考案例提供分析的起點。它不被視為最可能的結果。
- 據指出每個成員公司可能進行經濟研究略有不同，但是它認為所有的成員公司很可能會使用以下情境假設比參考案例中更有可能的情況下，作出判斷，這些假設包括：
  - 運轉小於剩餘的執照年限
  - 容量因子低於假設不停止運轉值 95%
  - 額外的容量因子減少以反映營運風險，例如延長核燃料更換所造成的停止運轉，或非預期的強迫停止運轉
  - 修正繼續營營現金流折現率
  - 重新開機遲於 1997 年 11 月 1 日
  - 取代電源成本比考案例中假設還低 10 %
- 結合了上述所做的判斷結果，如果繼續運作 Maine Yankee 電廠，基本上是在懲罰客戶。

### 停止運轉前規劃

在 1996 年和 1997 年，除役的初步規劃工作開始了。這些工作包括：

- 草擬停機後除役作業報告（PSDAR）；
- 開始開發一系列提交 NRC 給豁免請求。這些豁免請求包括緊急應變計畫的要求、減少保險要求、技術規格的變化。也準備永久停止經營和永久移除燃料狀態的 NRC 認證。
- 回顧之前的除役費用估計；
- 評估除役選擇（立即或延遲）；
- 初步評估除役方法—自我執行或外包（於第 4 章節討論）

- 初步評估利益相關者互動的需求（於第 6 章節討論）

除役方法選擇（立即拆除）依據董事會經濟分析，如果除役是該廠址的選擇結果，立即拆除的方法對繳納人是最具經濟利益的。

1997 年 8 月 6 日，在經濟方面的原因，Maine Yankee 原子動力公司董事會投票永久停止發電運轉和立即啟動除役程序。

### 3.3 過渡期活動

#### 借鏡/建議

- 管理 — 為除役計畫選擇一個包含牽涉所有學科初步除役規劃的小型管理團隊，在扁平化的組織下成為一個工作團隊。
- 管理 — 保持所有部門參與很重要，即使由他們的領域中解決問題並非顯而易見。這是因為在除役中，一個看似無關的任務/決定，如何影響到其他部門不是那麼顯而易見，也因此由那些不直接相關者，提供了問題獨特及更好的解決方案/方法。
- 管理 — 隨著時間推移，一般的小管理團隊收集足夠的知識，超出他們直接管理的有關領域，此時他們的觀點往往對工作的影響為：添加另一個層次的品質保證。
- 管理 — 選拔人才留在除役的計畫中是很重要的，它需保留了建廠專業知識和經驗，此外要保有運作經驗的管理人員。為了支持下一個建議，獲得建設和/或拆除經驗方面的專門知識的人員也是很重
- 管理 — 一項關鍵的早期過渡作業為廠址心態由運轉邁向除役。
- Cold and Dark (在下面的本文中詳細定義) — 冷凝作用使主要輔助主建築地面濕滑 — 需要安裝人行道止滑墊。

- Cold and Dark — 執行"橙色計畫"（在下面的本文中詳細定義）需特別注意。缺少對細節的注重會導致線路、管道或支援媒介無意中被削減。
- Cold and Dark — 確保線路低處充分排乾。一旦熱減少或移除設施，不充分排乾可能由於水冷凍而導致線路或閥門破裂。
- Cold and Dark — 執行計畫的獨立審查，以避免遺漏了由 non-cold and dark 的建築物中的隱藏電氣線路。

### 概述

除役的過渡期，一般認為是永久停止運轉至除役活動開始期間。在 Maine Yankee 的案例下，這是大約 1997 年 8 月至 1998 年 7 月期間，選定除役作業承包商（DOC）。在此期間的關鍵行動包括：

- 提交各種的管制和執照文件，減少負擔不再需要的作業；
- 完成的業務案例，以確定除役選擇
- 發展和提交主要除役合約請求建議書（RFPS）
- 規劃和進行 除役前的行動
- 執行的"關鍵路徑"作業如廠址評估、反應器冷卻劑迴圈化學除污和消滅石棉
- 選擇合適的現場工作人員，以維持除役計畫，另外開始員工資遣措施
- 開始與除役相關的利益相關者互動

### 過渡期取照作業

第一個取照的行動在宣佈決定除役後，提送 NRC 認證 Maine Yankee 永久停止運轉，並且從反應器容器永久性地移除所有燃料。在董事會宣佈除役的決定之後，這些認證已提交 NRC。

這些文件提交之後，下一個關鍵步驟是提交停機後除役作業報告 (PSDAR)。該廠址提交的 PSDARs 以其他設施作為參考模型，但是還是需有 Maine Yankee 廠址針對除役計畫特有的數據，如初步除役的時間表、估計成本、估計廢棄物量和輻射暴露值。1997 年 8 月 27 日 Maine Yankee 特有的 PSDAR 提交到 NRC。PSDAR 的提交認定”終止和廠址整治執照”應在停止運轉 7 年內完成。我們知道在 1997 年 8 月 Maine Yankee 終止運轉，PSDAR 表明 Maine Yankee 除役將於 2004 年 8 月表明。目前定於 2005 年 3 月完成 (附表增加僅為 8%) (實際為 2005 年 10 月)。

NRC 收到 PSDAR 後，通常在收到文件後的 90 天內，舉行鄰近區域的公開說明會。由於執照中規定，此說明會需向公眾提供除役的做法和時間表的摘要，並給 NRC 一個時機，討論的管制和監督反應器除役的過程。說明會還提供了一個徵求公眾意見機會。1997 年 11 月 6 日舉行 Maine Yankee 公開說明會。

申照的作業是整個除役計畫的重要動作。Maine Yankee 被要求與管制的互動的更多細節在第 6 章節中。

### 過渡期商業案例

如果過渡期前尚未完成，在過渡期內進行幾個商業案例或經濟分析。上述是非常重要的，由於其成果是形成整體的除役計畫方針，並且是整個除役計畫進展的關鍵決定輸入。

最早的商業案例是除役方法的選擇。如上所述，董事會的經濟分析已經完成了這個任務，進行立即除役的決定。

下一個重要的業務案例是確定除役整體計畫管理方法。選項主要是 Maine Yankee 自行管理計畫並招聘特殊的總承包商或分包商以順利完成計畫所需、聘請總承包商包含所有必要的分包商的或雇用除役作業承包商

(Decommissioning Operations Contractor, DOC)。DOC 的方法是類似聘請總承包商。合約中訂明，總承包商提供所有的勞動和技術，並預先設定每小時勞動費率（所謂"時間和材料"合約）。DOC 與總承包商不同在於 DOC 除了提供這項工作所有必要勞動和技能，另外以固定價格的基礎承接計畫，因此承擔了執照持有人部分的風險。第 4 節討論，Maine Yankee 選定除役作業承包商的方法。

另一個業務案例為，通常啟動過渡時期時用過核子燃料已決定採取何種貯存辦法。在 Maine Yankee 停止運轉時，美國能源署(DOE)尚未不履行 1998 年 1 月 1 日開始接收用過核子燃料的合約，但很明顯 Maine Yankee 用過核子燃料，將有一段時間保留在廠址上。美國能源部表示：直到 2010 年，Yucca Mountain 最終處置場可能無法營運。假設此設施依新的時程開始運作，在美國境內的每個發電反應器廠址內將堆放著等著運送到最終處置場的用過核子燃料。

商業案例中的一個關鍵變數是現場用過核子燃料的管理：選定一個日期，所有廠址上的用過核子燃料有望轉運到 DOE 永久處置場。此經濟分析在是第 5 章節進一步討論。

### **過渡期的請求建議 (RFPs) 和計畫執行**

一旦決定承包方式，發展詳細的請求建議(Transition Requests for Proposals, RFP)並提供以利招標。DOC 將在第 4 章節進一步討論。在 Maine Yankee 早期評估顯示，為了完成業務案例、發展和發出 RFPs、獲取、評估和選擇承包商並動員承包商，實體的除役工作不會在 6-12 個月內進行，。

Maine Yankee 視這 6-12 個月期間為為一個機會來評估與進行相對分離(定義範圍)計畫，因會降低整體計畫風險，所以不管所選的承包方式為何，這都可能會被要求。分離計畫包括廠址石棉消滅、減少熱點、反應器冷卻

劑系統除污、初步特性調查和汽機島"Cold and Dark"過渡期的狀態。過渡到 " Cold and Dark "可能也包括創建用過核子燃料池島或為用過核子燃料池島建立一個分離的獨特過渡計畫。

### 石棉拆除

在電廠營運時進行電廠維修或修改，需要修復石棉。因此，Maine Yankee 有與合適的石棉修復和處置公司的承包經驗。在操作過程中沒有發生整批修復。石棉被廣泛用於在 Maine Yankee 絕緣材料、防火隔絕、塗料添加劑和瓷磚。這與於上世紀 70 年代早期開始運營的其他反應器類似。在較早的除役成本估算提出的石棉量為 16,000 立方英尺。Maine Yankee 的具體評估，約 28500 立方英尺的石棉需要整治。據估計，約 1/3 的石棉具放射性污染，因此需要安置在具有執照的低放射性處置場。留在渦輪室為非石棉的絕緣，協助重新開機選項和/或潛在的渦輪室元件銷售。

石棉整治計畫始於 1998 年 3 月，1998 年 12 月中旬結束。這個拆除計畫估計至少是以往在 Maine 州完成任何石棉拆除工程四倍大。這也是以往執行 Maine 州拆除石棉分包商最大的拆除計畫。該計畫利用超過 12 分包商，尖峰時有 145 名工作人員服務，他們的工作為移除含石棉的材料，共約 80,000 立方英尺，約 200,000 人-小時。

### 減少熱點

Maine Yankee 認為整個除役計畫輻射暴露量的減少為一項重要目標。早期開始的兩個計畫之目的為減少輻射源或放射性物質在核電廠的量，以減少除役工作人員將面臨輻射暴露風險。這兩個計畫分別熱點去除及反應器冷卻系統除污。

核電廠運行期間進行輻射調查會注意到在廠房隔間、管槽和其他區域的一般熱點。這些熱點問題往往管道彎頭、閥門的連接點、流量的變化、管

道中的位置和其他地點。為了避免對技術人員不必要的暴露，一般會找出這些區域。這些調查主要目的為確定一般區域升高的暴露量，告知工作人員避免至該區域。

熱點減少計畫，旨在明確地確定熱點，允許“外科手術”移除他們，就是相對於整個管道或組件在某一區域去除切割出特定部分閥門或管道。

為了完成此一計畫，系統進行排水和取出勞務。這意味著只有系統不再需要為燃料進行安全管理時可用於減少熱點。Maine Yankee 取得一個伽瑪攝影機支持熱點減少工作。伽瑪攝影機的組成包括搭配電腦的攝影鏡頭和輻射探測設備。伽瑪攝影機在使用時，將提供監測區域的黑白圖像與一個與疊加顏色的區域。顏色的變化代表輻射暴露率的變化。產生的圖像清楚地確定將在某一個地區的最高度活度源，之後可以移除。這個過程可以在某一區域不斷重複，以產生所需的劑量減少。

廠址輻射保護管理器估計熱點減少計畫可能會降低計畫總暴露~150 人 rem(1.5 人 Sv)。

### 反應器冷卻系統除污

除了減少熱點，Maine Yankee 還決定執行反應器冷卻系統(RCS)化學除污。輻射保護管理者估計 RCS 除污也可能減少計畫總暴露~150 人 rem(1.5 人 Sv)。

以 RCS 除污為主題的詳細論述的 EPRI 報告為#TR-112092, Evaluation of the Decontamination of the Reactor Coolant Systems at Maine Yankee and Connecticut Yankee, and Report # 1003026, Decontamination of Reactor Systems and Containment Components for Disposal or Refurbishmen，摘要如下。



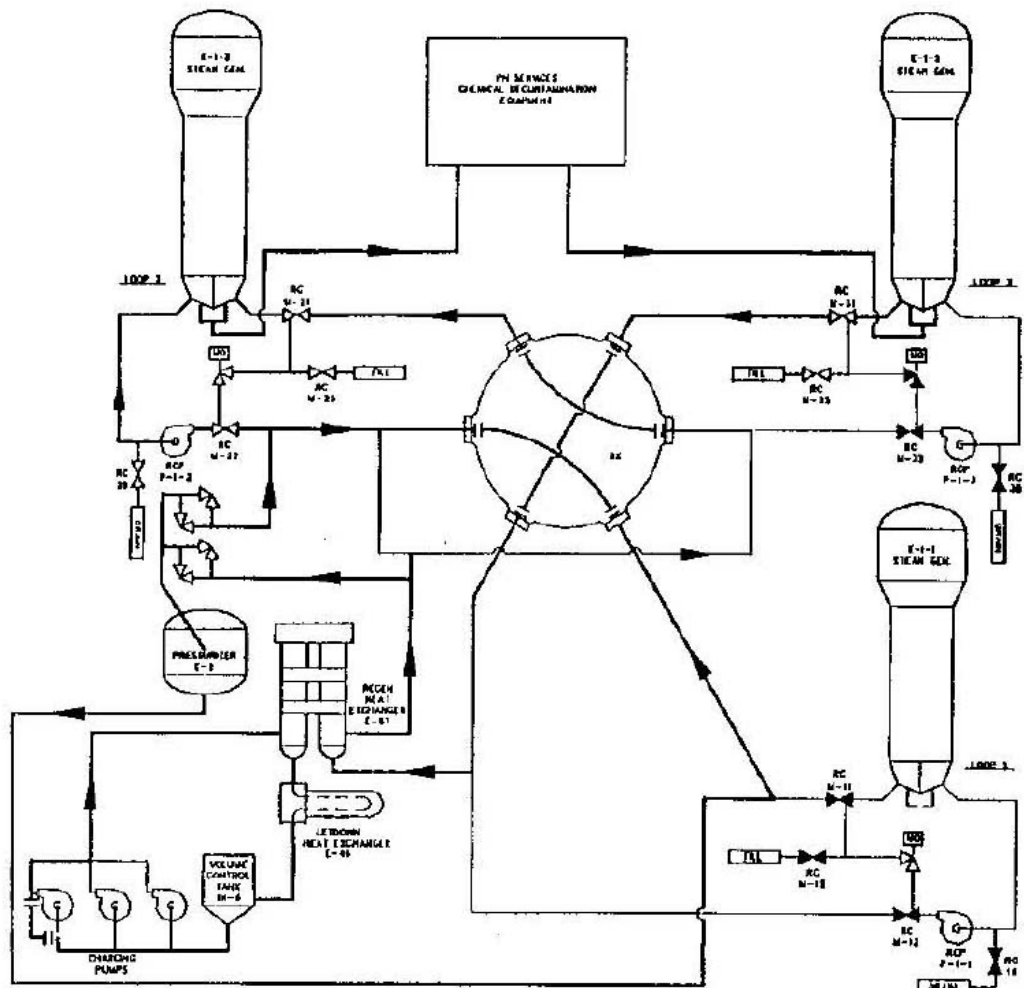


圖 3-6 Maine Yankee 第一階段 RCS 除污

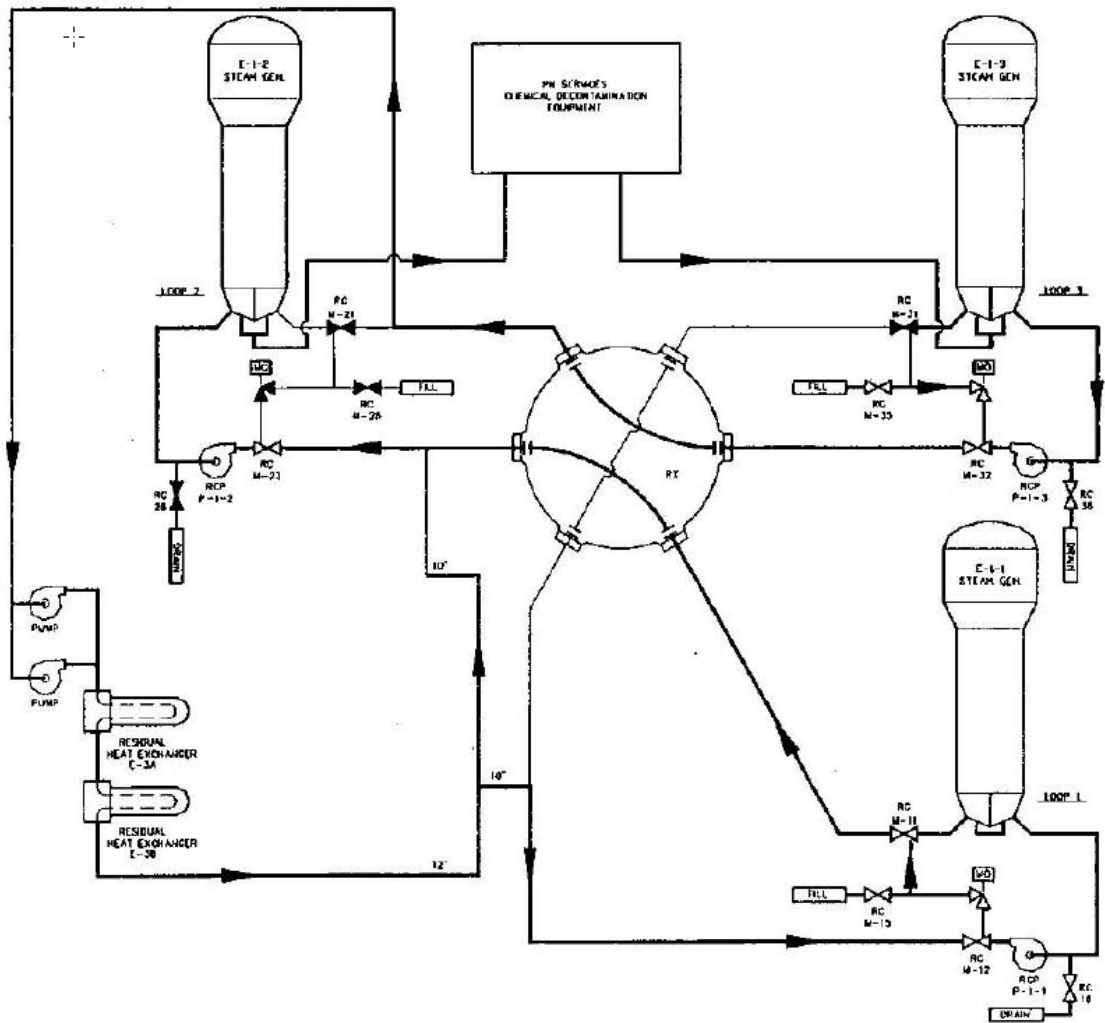


圖 3-7 Maine Yankee 第二階段 RCS 除污

選擇的 RCS 除污承包商提供技術支援、電氣和廢棄物處置服務。需有限度地使用電廠的設備。安裝一個可流通的噴嘴阻斷裝置旁通反應器壓力容器，此裝置稱為”蜘蛛(Spider)”，安裝於在反應器冷卻劑迴路和反應器壓力容器的接頭。蒸汽產生器管路由跳線旁通並使用較低流量（400 - 650 gpm）。由承包商的提供外加 600gpm 幫浦供給循環動力。外部加熱、離子交換器、化學添加、採樣和過濾，也是由承包商提供。

這個程序包含了兩個獨立的應用階段。第一階段包括部分 RCS 迴路 2 和 3，降載系統、裝載系統、注入和排水系統及穩壓器（圖 3-5）。第二階段包括所有三個迴路和餘熱排除系統（圖 3-6）。此程序在 1998 年 2 月 10 日開始，在 3 月 7 日完成。這包括用了兩天來改變整個系統及用了兩天在除污結束後清理系統。

第 1 階段共有 11 次循環，需 191 個小時。第 2 階段共有 13 次循環，需 182 個小時完成。該計畫結果包括：

- 102 居裡的伽馬放射性活性被移除（98%鈷-60）
- 673 磅的溶解金屬被移除（278 磅的鐵、鎳、262 磅和鉻 133 磅）
- 所有位置的去汙因數(DF)為 31，同時位置大於 100mR/h 去汙因數為 89
- 除污產生 535 立方英尺的離子交換樹脂廢棄物，從除硼系統的樹脂產生額外的 90 立方英尺。

### 初步特性調查

早就發現一個詳細的廠址特性調查，對任何除役合約方法的選擇所是必要的，因為廠址特性調查的結果支持計畫計畫的制定詳細。在 1997 年 10 月中旬選擇廠址特性調查承包商，並開始廠址的工作，工作在 1998 年 4 月完成，並在 1998 年 4 月 29 日發表報告。此特性調查包括危險材料以及放射性物質。

此計畫的一個有趣現象為除役作業承包商(DOC)的潛在競標者參與其中。Maine Yankee 已決定採用固定價格法著手撰寫請求建議書(RFP)來尋找除役作業承包商(DOC)。Maine Yankee 的期望是選定的除役作業承包商

(DOC)將負責需要整治的污染物質。潛在投標人接受初步的場地特性調查的結果是很重要的，因為他們的部分的出價是基於需整治污染物質的數量。

若之後發現在初始廠址特性調查未明確定義的污染的物質之事件，典型行業慣例為：總承包商陳述這是超出最初的計畫範圍，因此需要額外成本補貼。

Maine Yankee 想要避免這種情況，所以除役作業承包商投標者成為初始廠址特性調查計畫參與者。他們審查了計畫範圍的工作，基於他們的經驗建議的更改或增加其他需評估區域。在特性調查計畫期間，每個投標者自費提供一個或兩個人在 Maine Yankee 的現場。

最後，每一個潛在投標人有相同的特性調查結果。總共作了大約 130,000 現場測量和拍攝，近 800 樣本進行化驗分析。有趣的結果包括：

- 注意到背景值的變異很大，這是由於整個廠址不同深度的岩床、沉積礦物和其他因素。
- 特性調查在前遊客中心地毯上發現污染，後來確認為展示使用的一塊鈾礦石。
- 真正異常的環境結果只有在位於廠區的南部 Bailey Point (圖 3-3) 大約 10 平方英尺和深 6 英寸 (已整治)。
- 兩個海洋沉積物樣本顯示，揮發性有機化合物 (VOC) 和半揮發性有機化合物 (SVOCs) 濃度升高——推定為可能源自建築的屋頂和停車場的石油產品。

### **Cold and Dark**

Maine Yankee 的系統和建築物想用"Cold and Dark"的做法。"Cold and Dark"是一個用語，用來描述一個設施含流體的系統幾乎都排乾，並且電力

組件的已被移除。其他主要的替代方法是配合除役時程所需的排水/斷電系統。Maine Yankee 決定使用"Cold and Dark"方法而非其他方法因：

- 提供最大核安全（一旦用過核子燃料是適當地孤立），排水/斷電系統可能與用過核子燃料池交互作用
- 提供最大的工業安全，並且確認人員開始除污或拆除活動前，移除所有的電源
- Cold and Dark 的方法是除役作業承包商(DOC)投標者進行評估和投標的最簡單的一個，結果可能會從潛在的除役作業承包商(DOC)得到較低報價。

電廠可處於 Cold and Dark 的條件為需完成四項主要措施：

- 使用過核子燃料池島(Spent Fuel Pool Island, SFPI) 計畫
- 系統評估與重分類團隊(System Evaluation and Reclassification Team, SERT)
- 控制室轉換(Control Room Transition, CRT)
- Cold and dark 計畫

只要用過核子燃料存留在用過核子燃料池，其控制和隔離是核安全計畫的重點。為了允許除污及拆遷活動，用過核子燃料池必須透過隔離管道、電氣、控制系統使其獨立其它部分的電廠。這種隔離用過核子燃料池和其支援的結構，從規畫除役活動需要創建使用過核子燃料池島計畫（SFPI）。SFPI 安裝獨立用過核子燃料池冷卻系統、新電力分配系統、新控制室(遠離除役的區域)、新暖通空調和輻射監測系統和倒塌安全邊界。

系統評估與重分類團隊(SERT)在廠址上評估所有的結構、系統和元件(SSC)。初始 SSC 清單基於設備和每個運轉執照所需的元件。SSC 之評估遵循以下標準：

- 是否需 SSC 用來防止或減輕永久去除核燃料的條件下的設計基準事故
- 是否需要 SSC 來安全儲存放射性廢棄物用過核子燃料
- 是否需要 SSC 來滿足永久去除核燃料的條件下廠房設計、執照的基礎或技術規格
- 是否需要 SSC 來滿足平常廠房除役期間操作所需

每個 SSC 依據上述來評估，然後分類為"可用"或"準備放棄"。

SFPI 和 SERT 的計畫的成果之一是確定將除役的工作需要什麼控制和儀器。由運轉至除役，控制和儀器的需求層次大幅降低。

Maine Yankee 決定提供一個全新的控制室給除役工作，而非維持現有運轉控制室僅減少控制和儀器來使用。

控制室移轉所需重新安置所有警報系統至新控制室。它還提供了控制室所有的火災探測器的作動及抑制控制和指示。廠址氣象塔適用的資料從也連線到新的控制室。這個小範圍控制室使操作者更容易集中較少數量關鍵性的參數和儀器上。

新的控制室也允許舊的操作控制進行斷電和拆除。

“Cold and Dark projects”的其餘作業包括：

- 更改機械設施
- 更改電氣設施
- 減少廢棄物
- 工作人員搬遷；
- 啟動"橙色計畫"；
- 對防火抑制系統的更改。

更改機械設施使保健物理檢查點重新配置，並且重新配置輻射控制區的通風、電廠污水坑和排水渠道，和廠址井和飲用水。

更改電力設施從現有電廠的電力系統分離出"向前邁進"電力系統。它包括必要負載的重新輸電（吊車、留佔用的建築、通風和建設施工電力）。最後，它涉及重新配置外部電源飼入電廠的線路。

儘量減少廢棄物涉及從廠址移除所有不需要的化學和石油產品，以及電廠污水坑的關閉和水源的重新導向。水槽已清除，系統已排乾。電廠電池、水銀和任何含氯氟有機化合物（CFCs）適當地被從廠址中移除。

工作人員重新安置是繼續完成計畫的早期挑戰。隨著計畫進行，電廠永久員工人數不斷減少，工程承包商人員的數量則有大幅變化。除役計畫的每個方面，需要足的辦公室及工作室空間。整個計畫每天的電信和電腦的服務幾乎在變化。整個計畫確保員額波動及有足夠的飲用水和衛生服務的也是 Maine Yankee 的另一項挑戰。

一旦完成系統評估與重分類團隊(SERT)、SFPI 和更改機械和電氣設施，電廠留下一套所需相對小的結構、系統、組件、控制和儀器。基本上除役活動不影響這些元件。

需要一種簡單方法，以識別這些元件，以便計畫人員(Maine Yankee 和合約的人員) 不會更改或對其進行處理。為此目的設立了"橙色計畫"。所有這些必需的元以橙色帶子標記。計畫的所有人員都進行了訓練，除非依據正式的工作計畫，否則不碰橙色元件。這是剩餘的重要安全系統一個好的溝通方法，但請務必確定選定系統所有部分，包括控制及儀器的電纜連線。

更改電廠火災抑制計畫涉及減少火災負荷（降低可燃物）和修改消防安全計畫及步驟，在不加熱的區域，允許排乾以水為基礎的滅火系統，並轉

變到乾式管路為基礎的滅火系。因需要控制火災負荷，需適當地進行電廠職員的訓練的更改，並提供足夠的手提式滅火(滅火器)。

### 人力資源轉型

在 1997 年夏季開始直到除役的過渡期，電廠員工可以理解大量運轉職員的不確定性。是否會繼續受雇於 Maine Yankee 現場或其它公司持續受到關切。這段期間到除役，Maine Yankee 人力資源人員的工作為持續溝通，以保持工作人員士氣和使人員繼續專心於手中的任務的。

最大的變化是從營運到停止運轉的文化轉變。"這會如何影響我、這將如何影響我的工作、我家人、我的轉職選擇等。"員工們想要更具體的答案而 Maine Yankee 試圖提供具體的答案，但在某些情況下管理者也不知道答案。這是最重要是保持持續的溝通。

Maine Yankee 想要提供一定程度的安慰，給在這種不確定性狀況下仍努力工作電廠員工。處理的一個方式是發佈了一個資遣和提前退休計畫。該計畫大致與其它新英格蘭公用事業大致相若，每年的服務年資發放的資遣費為兩個星期的工資。如果公司希望你留下來而你繼續停留在這個計畫上，你有資格保留遣散費的福利。這一項措施給了 Maine Yankee 員工財務上慰藉。

該計畫直到最後停止運轉都沒有更改，這被認為是非常重要的，有助於維持員工的信任和信心，特別是那些被要求留任至計畫結束的員工。

當除役計畫持續進行，Maine Yankee 工作人員所需的技能和技能的量變得更清晰。基於 DOC 人手的推測，Maine Yankee 目標員額的發展預計如下：

- Final Shutdown ~ 600
- End of 1997 ~ 300



- End of 1998 ~ 135
- End of 1999 through completion of fuel transfer out of pool ~ 85

這些數字只反映了 Maine Yankee 的職員，沒有任何 DOC 合約人員。

乾式貯存燃料傳輸完成後工作人員會減少，有如其他被拆毀建築物，最後終止調查完成後會下降到大約 20 人。未來的員額配置水準已確定，會提供員工他們個人就業的結束日期。最初，舉行分組會議討論一般工作人員編制方法和工程計畫計畫。其後部門集體會議和員工和主管之間最終個別會議。每三到六個月重新審查預測人力和結束日期，之後舉行了個人與上司之間的會議，更新廠址工作人員的特定結束日期。這些會議有一個寶貴用途，該計畫的電廠員工繼續有明確的個人結束日期。如此最小化的工作人員的不確定性，有助於保持員工專注於計畫，而不是工作人員的個人情況。

工會有一個不同的資遣散計畫（概念類似）是通過現有的合約來達成。無關除役，大約停止運轉兩年後，工會合約由於合約到期而重新協商。在新合約中，為適應這些除役的變化，包括交叉培訓和工會人員的資格作了修改。同樣，這減少了個別不確定性，支持工會人員專注於計畫。

Maine Yankee 還設立主要用於關鍵員工的保留計畫。關鍵雇員由程序化的基礎所決定，並通常由首席執行官、首席財務官與適當的副總裁審查，以確定最需要的位置及需要的時間（對於在什麼時間）。此保留計畫每月提供留任在計畫個人年薪一定比例，假設只要 Maine Yankee 需要他們，他們就留下。如果個人離職的時間點，在他們同意結束日期之前，沒收其留用獎金。此計畫最初目標為相對較少的個人，但是計畫繼續進行，啟動兩個計畫的附加階段。在每個階段增加計畫的人數。這個整體的增加是由於兩個主要原因。

首先作為該計畫的第一次執行，關鍵專業知識和經驗的改變，需要審查需要保留關鍵技能。第二，繼續此計畫，Maine Yankee 人員繼續緊縮，每個留任員工對整體計畫的相對貢獻變得更重要。因此在除役計畫中，必需及早發展廣泛和強健的留任計畫，但在整個計畫中要定期審查所需的技能的計畫同樣重要。

### **過渡期利害關係人互動**

啟動停止運轉前期間的任務之一是與林肯縣的州參議員討論有關 Maine Yankee 需要和當地社區和利益相關者溝通溝通的新方法。無論廠址是出售還是除役都是需要的。這些討論的結果之一是社區諮詢小組 (CAP) 的發展。第 6 章節更詳細地討論。第一次社區諮詢小組 (CAP) 會議的舉行僅在公布關閉後兩個星期。在撰寫本文時，Maine Yankee 除役的計畫，社區諮詢小組(CAP)已舉行近 50 次公開會議。

## **3.4 除役作業承包商的使用**

### **借鏡/建議**

- 瞭解您的主要承包合作夥伴在技術和財政兩方面的強度。
- 有足夠的合約條文，在主要承包商發生問題的事件中，提供業主選擇，以有效和安全的繼續該計畫。
- 保有或獲得對計畫最優秀的人，通常這些人不會都在一個組織或公司內。
- 如果您有輻射、取照和拆除的專業技能，自行執行除役可能是合適並具成本效益。

## 概述

在 Maine Yankee 結束操作時，公用行業正在發生許多事情影響 Maine Yankee 的除役承包方法選定。

最後一批大型電廠建（在 20 世紀 80 年代）傾向於用傳統的總承包商的時間和材料 (T&M) 合約來興建。因為幾個理由，這些合約的總成本往往遠超出原來預算。Maine Yankee 不想電廠的拆除根據相同的經濟模式，所以它追求的固定的價格合約。

除役的信託基金僅提供有限的金額分配給此計畫。因此支持追求一個固定的價格合約的決定。

Maine Yankee 所採取的做法是 DOC RFP 中設計轉移一些計畫風險給另一個實體，此實體有資格安全地執行工作。在 1998 年 12 月 EPRI 除役研討會 (EPRI TR 111025) 中，在中說明了此一風險的轉變。下表由此演講材料所衍生。

除了討論風險轉移，演講說明了使用 DOC 的優點和缺點，並提供一個清單要求潛在 DOC 的強項及 DOC 在取得合約前需先察看的活動。

表 3-1 DOC 及 Non-DOC 風險的責任歸屬

| Task                                   | DOC                 | Non-DOC           |
|--|---------------------|-------------------|
| Transition management                  | Contractor or owner | Owner             |
| Project management                     | DOC                 | Owner             |
| Site management                        | DOC                 | Owner             |
| Site Labor management                  | DOC                 | Various           |
| Cold & Dark preparations               | DOC                 | Owner/contractors |
| Primary system decon                   | Owner/contractor    | Owner/contractor  |
| Site characterization                  | Owner/contractor    | Owner/contractor  |
| Large component removal                | DOC                 | Contractor        |
| Commodity removal                      | DOC                 | Contractor        |
| Waste packaging, shipping and disposal | DOC                 | Contractor        |
| Licensing                              | Owner/DOC           | Owner/contractor  |
| Health physics                         | DOC                 | Owner/contractor  |
| Station administration                 | DOC                 | Owner/contractor  |
| Procurement                            | DOC                 | Owner/contractor  |
| Fuel handling                          | DOC                 | Owner             |
| Fuel storage facility                  | DOC                 | Owner/contractor  |
| Final status survey                    | DOC                 | Owner/contractor  |
| Asset recovery                         | Owner/DOC           | Owner             |
| Repowering                             | DOC                 | Owner             |

DOC 優點

- 業主僅需處理一個建造者/承包商
- 固定價格
- 較強的進度承諾
- 分擔風險
- 工會讓步
- 工作範圍的協同
- 再培訓與再利用所選的廠址人員
- PUC/FERC 接受基於固定成本推定的徐役
- 可記取過去經驗的優勢
- 為業主節省

#### DOC 缺點

- 拉高前面的特性調查和投標時間週期
- 失去業主的控制權
- 業主支付未發生的可能突發事件
- 超出合約之變更的潛在成本

#### DOC 需要的強項

- 大型廠管理能力
- 核能取照
- 安全評估
- 核能工程/機械設計
- 受污染的設備拆除/處置
- ISFSI 鋼筒/運送箱/吊車吊運
- 採購/承包商管理

- 建築勞工/工會管理
- 放射分析 /設計 / 規劃
- 電廠系統的瞭解
- 除役過程最佳化能力
- 國家和地方管理機關取照的能力

#### DOC 合約的事先要求

- 廠址特性調查
- Cold & dark 策略
- 燃料貯存策略
- 一次側的除污
- 廠址電廠資料/圖面的準備

除了選擇除役作業承包商(DOC)外，Maine Yankee 也有 Maine Yankee 管理方面的決定。早在 1997 年，Maine Yankee 與 Entergy Nuclear, Inc. (ENI) 有合約，提供電廠管理服務。這是電廠重新開機及研究綜合廠址改進計畫工作的一部分。幾個關鍵的 Maine Yankee 經理人，在永久停止運轉的時成為 ENI 的職員。

1997 年 11 月 Maine Yankee 宣佈修改了 ENI 的合約，於除役計畫的進行繼續提供管理服務。ENI 管理合約一直持續到現在。

#### DOC 的選擇

1998 年 4 月 17 日，Maine Yankee 提出除役作業承包商(DOC)的請求建議書(RFP)，1998 年 5 月 29 日為投標日。RFP 要求投標人包含特定選項，

包括電廠廠址重配電力，用過核子燃料管理/貯存，並滿足 15 mrem/y 加上合理抑低的外釋標準。

一開始 Maine Yankee 的計畫有大約有 6 組投標人，一般為大型領導公司結合規模較小的下包商共同投標這份工作。執行送交投標書的初步關鍵，以確定投標人完全符合資格和要求。在初步審查之後，進行了詳細的投標審查。

Maine Yankee 和一個第三方專家組成的團隊進行投標審查。與會專家包括金融分析師、低放射廢棄物專家、總承包和電廠設備更新改造專家。基於社區諮詢小組(CAP)的請求，經濟重建的專家也參加投標審查過程。投標評比使用結構化的決策分析過程，而加權因子明顯對有效的成功除役。以最有競爭力的投標為基礎，對投標方案進行評估。

投標評估標準包括：

- 安全歷史（工業和放射性）；
- 在核環境中的經驗；
- 類似的拆除計畫經驗；
- 關鍵人員的學歷/證件；
- 投標人的財務狀況，包括信用評級；
- 除役方法的創新。

Maine Yankee 收到非常激烈投標競爭，部分是因為認為短期內有具有大型除役計畫經驗公司的需求。得標者將被視為具將來除役計畫的競爭優勢。

1998 年 8 月 4 日，Stone & Webster Engineering Corporation (SWEC) 得到一個統包、固定價格合約，承建商在需要承擔執行除役計畫的財務風險。

SWEC 合約總共約 250 萬元，原先估計除役費用為 541 萬元(1998 美元)。

合約中的幾項規定最終證明對 Maine Yankee 尤其有用。這些措施包括：

- 可假設不需新合約下，下包商以及 DOC 之間的合約，Maine Yankee 有相同的條款及條件。
- DOC 合約中指定了大量的履行和報酬連結
- 在合約中具有非常嚴格的財務控管授權，包括審查 DOC 支付所有下包商的工作。
- 合約規定，如果 DOC 發生無力償債，可以終止合約

Maine Yankee 和 DOC 之間主要的財務管理系統使用”取得價值(earned value)”概念。”取得價值”用於在勞動及服務合約和全部的計畫。最初的概念是每個 WBS 元素的預算和各自的支付給 DOC 在工作分解結構(WBS 元素)設計，以配合所有計畫元素。

每個工作任務分配了具體預算（金錢或工時）。視每一項工作任務的進展情況，再支付 DOC 款項。以下的範例為用過核子燃料乾貯系統發照。



WORK PACKAGE PERCENT COMPLETE - WPPC  
FORM 1

PMP 11.0 FORM1

PROJECT: MAINE YANKEE DECOMMISSIONING

WORK PACKAGE NO. J.C.D.ISFS.0065

Activity # ISFSI65

WORK PACKAGE DESCRIPTION:  
Cask Vendor Licensing

EARNED VALUE BREAKDOWN

| Cask Vendor Licensing |  | % OF   |          |         | MY       |
|-----------------------|--|--------|----------|---------|----------|
| Activity              |  | TOTAL  | COMPLETE | EARNED  | APPROVAL |
| 1                     | 1032 negotiate cask vendor contract                    | 2.0%   | Y        | 2.00%   | RCH      |
| 2                     | 1085 Prel eval of MY non-std Fuel                      | 3.0%   | Y        | 3.00%   | PP       |
| 3                     | 1096 Validate Design with drop test                    | 4.0%   | Y        | 4.00%   | RCH      |
| 4                     | 0008I perform storage source term analysis             | 2.0%   | Y        | 2.00%   | RCH      |
| 5                     | 0024I perform transport source term analysis           | 2.0%   | Y        | 2.00%   | RCH      |
| 6                     | 0005I perform storage criticality analysis             | 3.0%   | Y        | 3.00%   | RCH      |
| 7                     | 0022I perform transport criticality analysis           | 3.0%   | Y        | 3.00%   | RCH      |
| 8                     | 0026I perform transport shielding analysis             | 3.0%   | Y        | 3.00%   | PP       |
| 9                     | 0028I perform transport thermal analysis               | 2.0%   | Y        | 2.00%   | RCH      |
| 10                    | 0010I perform storage shielding analysis               | 3.0%   | Y        | 3.00%   | PP       |
| 11                    | 0014I perform site dose analysis                       | 2.0%   | Y        | 2.00%   | PP       |
| 12                    | 1059 prep/submit amendment for storage non std fuel    | 10.0%  | Y        | 10.00%  | PP       |
| 13                    | 1064 prep/submit supp/ for transport non std fuel      | 5.0%   | Y        | 5.00%   | RCH      |
| 14                    | 0016I perform storage thermal analysis                 | 2.0%   | Y        | 2.00%   | RCH      |
| 15                    | 0019I perform storage structural analysis              | 2.0%   | Y        | 2.00%   | RCH      |
| 16                    | 0030I perform transport structural analysis            | 2.0%   | Y        | 2.00%   | RCH      |
| 17                    | 1140 NRC review amendment non-std fuel storage         | 4.0%   | Y        | 4.00%   | PP       |
| 18                    | 1155 NRC review Amendment for fuel Transp              | 3.0%   | Y        | 3.00%   | PP       |
| 19                    | 1065 Receive RAI for fuel transp                       | 1.0%   | Y        | 1.00%   | PP       |
| 20                    | 1066 Respond to RAI Fuel Transp                        | 4.0%   | Y        | 4.00%   | PP       |
| 21                    | 1060 Receive RAI non std fuel storage                  | 1.0%   | Y        | 1.00%   | PP       |
| 22                    | 1062 Respond to RAI on Non-std Fuel Storage            | 7.0%   | Y        | 7.00%   | CO       |
| 23                    | 1146 NRC Rev 1st Round Resp Fuel Transp                | 1.0%   | Y        | 1.00%   | PP       |
| 24                    | 1137 NRC Review RAI Response Non-std Fuel Storage      | 2.0%   | Y        | 2.00%   | PP       |
| 25                    | 1055 NRC Issue Transport CoC                           | 4.0%   | Y        | 4.00%   | PP       |
| 26                    | 1067 NRC issue draft SER(Non Std Fuel)                 | 10.0%  | Y        | 10.00%  | PP       |
| 27                    | 1068 Rule making on Amended Storage CoC                | 3.0%   | Y        | 3.00%   | PP       |
| 28                    | 1134 Receive Amended CoC non std fuel Storage & Transp | 10.0%  | Partial  | 7.58%   | DR       |
| TOTAL                 |  | 100.0% |          | 97.583% |          |

圖 3-8 取得價值報告範本

在上面的圖中，第一個活動，"協商鋼筒供應商合約"評估為需要 2 % 努力來完成"鋼筒供應商發照"所需的整體工作。一旦特定任務完成並且 Maine Yankee 批准，承建商將當作已賺得套裝工作中 2% 相關的費用的。使用此過程提供了直接承建商匹配的計畫管理工作計畫和時程的報酬。

排除 DOC 和轉換到自我執行

在 1999 年的下半年，Maine Yankee 開始接到 DOC 下包商沒有從 DOC 得到及時付款的投訴。此外，工業貿易期刊中的報告暗示一些其他 DOC 計畫（主要是海外）遇到的問題，可能對 DOC 的財務狀況有不利影響。

在 2000 年年初，在 Maine Yankee 的工作活動也開始了一些問題。缺乏資源應用於計畫的 DOC 被視為造成問題的原因之一。這些問題導致了管理高層在 Maine Yankee 與 DOC 之間的會議。

之後與 DOC 之間的這些會議，修正合約緊收合約財務控制。包括 DOC 母公司進一步的擔保。

1999 年底，DOC 也開始努力出售某些公司的資產。2000 年 4 月，DOC 不得不重申以前的企業盈利。2000 年 5 月 4 日，Maine Yankee 基於合約承建商破產規定的履行問題終止 DOC 合約。不到一個星期後，DOC 宣佈它將根據美國破產法第 11 章申請公司重組。

為了計畫活動順利地繼續，從 2000 年 5 月 4 到 2000 年 6 月 30 日期間，對 DOC 發出另一項臨時合約。這提供了 Maine Yankee 接管直接管理計畫的時程，而不只是計畫監督。2000 年 7 月 1 日，Maine Yankee 開始有效地擔任 DOC（所以稱為自我執行）。在這段期間，Maine Yankee 作出了決定，停止了一旦合約問題進行了整理後可以很容易地完成工作的一些非關鍵路徑的任務，並集中保持關鍵路徑的工作向前邁進。

DOC 被終止後的近期行動是審查所有分包合約以確定那些將維持不變。當時的目標是如果可能的話，避免當前承建商的復工和調動的任何新的承建商的費用。正如前文所述，大多數分包合約被直接賦予 Maine Yankee。這使得過渡要容易得多，時間花在確定要保留與那些分包商，而不需花時間與分包商獲取新合約。

這段期間，也允許 Maine Yankee 對新 DOC 發布 RFP。基本上 Maine Yankee 邀請投標人以"走進 DOC 鞋"來完成這個計畫。Maine Yankee 意圖是也用固定的價格合約執行後續 DOC。

從開 DOC 合約和合約終止期間，市場發生了顯著變化。第一，不再預期會有大批核電廠停止運轉。第二，由 Maine Yankee 的經驗給此行業許多教訓，除役計畫是如何複雜。

投標者提交給 Maine Yankee 的投標書雖有"固定價格本質"，但不是全面範圍或是 Maine Yankee 本來希望的固定價格。Maine Yankee 管理團隊想繼續使用之前 DOC 的方法（固定價格），但投標者提出更多 RFP 外的例外以保護自己。分擔風險的方式轉移回到 Maine Yankee 本身。

2000 年 7 月 1 日 Maine Yankee 開始除役活動的管理，主要側重於乾式貯存系統的施行和反應器容器內部切割。首要推動這兩項整體計畫關鍵路徑主要任務。Maine Yankee 人員確保這兩個任務的繼續，其他則獲准在時程中忽略或推遲，直到最終解決計畫管理的問題。

在此期間，Maine Yankee 得到計畫管理的經驗，並完成之前 DOC 分包認為應該繼續的假設。除了新的 DOC 投標，Maine Yankee 準備向董事會要求自行執行。

2001 年 1 月，董事會指示 Maine Yankee 繼續完成整個計畫的管理。Maine Yankee 繼續當前的計畫管理，在 2005 初年將完成這項工程(實際於 2005 年 10 月完成)。

### **3.5 燃料貯存選項**

#### **借鏡/建議**

- 清楚可知，在開始除污和拆除之前，先安裝獨立運作的使用過核子燃料貯存 (ISFSI)，較為可行。此設施的國家執照取得，需許多的時間和法律互動。當除役時需要許多工程作業，以確保過度燃料池島(SFPI)的安全。燃料完全移出使用過核子燃料池，再做物理除污或是開始拆除時，除役計畫的工作相對簡單。
- 電廠有任何燃料損害的歷史，應準備特別應急計畫，針對最後燃料檢驗中發現燃料丸或其他損害的案例。Maine Yankee 評估輻射和安全防護二者問題，看除了乾式貯存筒外，哪些選項可用於貯存在其他地點。
- 評估其他可能存在廠址的特殊輻射源，例如鈾-鈹(Pu-Be)或鈾-鈹啟動源、硼探測器或其他類似超 C 材料(GTCC)。Maine Yankee 最後申請美國能源部孤立輻射源計畫。花了四年的時間，美國能源部取走立輻射源。您需要評估是否選定用過核子燃料鋼桶系統，可以貯存未來處置的特殊輻射源。Maine Yankee 早期得到的法律意見為，鈾-鈹(Pu-Be)輻射源不是"與燃料相關聯"所以不能放入用過核子燃料鋼筒。有關用過核子燃料池的所有項目及最近每個檢測的健全知識基礎是至關重要的，之後再進行一個全面的乾式貯存計畫。
- 即使停止運轉，請務必保持很好的燃料池化學性質，以支援燃料處理和傳輸操作。

## 概述

在 Maine Yankee PSDAR，乾式貯存(DC)被假定為計畫用途。1997 年 11 月的 PSDAR 公開會議重申了乾式貯存(DCS)是只規劃方法的事實。當時預

設能源部(DOE)尚未能按照與 Maine Yankee 的合約，開始接收用過核子燃料，因此需要某種形式的臨時貯存。

DOC RFP 要求投標人提交臨時現場燃料和超 C(GTCC)廢棄物的貯存。DOC 投標人普遍地與現有乾貯系統供應商將聯手，他們的出價包括乾貯在內，作為 Maine Yankee 的合約選項之一。

1997 年 8 月下旬，Maine Yankee 社區諮詢小組的第一次會議，Maine Yankee 管理者陳述，將修改現有的用過核子燃料池支援系統，以便開始除役，長任期貯存方法(乾或濕)尚未決定。與社區諮詢小組的這些討論一直持續到 1999 年中。

### **用過核子燃料池獨立島 Spent Fuel Pool Island (SFPI)**

類似於其他幾個永久關閉反應器，Maine Yankee 最初選擇修改現有的用過核子燃料池支持系統，貯存用過核子燃料，為燃料的安全儲存提供可以選擇一種方法，直到 DOE 履行其合約義務，移除的用過核子燃料和 GTCC 材料。

這些修改通常提供包含燃料池冷卻和清理系統，以及監測、控制和電源。這些修改由電廠結構的其餘部分系統和元件，有效地隔離用過核子燃料池形成"核島"。此方法允許電廠的其餘部分開始除役，燃料則安全地維持。EPRI # 10003424：用過核子燃料池冷卻及系統清理—電廠除役的經驗，提供一些已經以這種方式貯存燃料，關閉動力反應器的摘要。由此文件節錄以下的資訊及圖表。

Maine Yankee SFPI 使用兩個分離的燃料池冷卻迴路，使用中間冷卻迴路空氣冷卻風扇機組與交換熱。它使用單一用過核子燃料池熱交換器。

在系統中，管路最低的連接位於用燃料元件上方，以阻止發生虹吸事件，而讓用過核子燃料頂部露出水面。備用電源由專用的柴油發電機組提供，執照規定或事故並沒有具體要求需如此。

用過核子燃料池冷卻和中間迴路位於用過核子燃料池建築物。電源風扇空氣冷卻器是位於用過核子燃料池大樓相鄰外面。冷卻迴路設計最大過核燃料池熱負荷為每小時最大熱功率  $3.3E6$  BTU，沒有冷卻時每小時上升  $1.08$  華氏度。

清理系統由表面撇油器飼入單一的淨化泵。然後水由  $0.2$  微米的預過濾器一個  $6$  微米後過濾器來過濾。進一步清理由池內一部內置泵和馬達  $28$  ft<sup>3</sup> 混合床除礦機來循環池內的水。

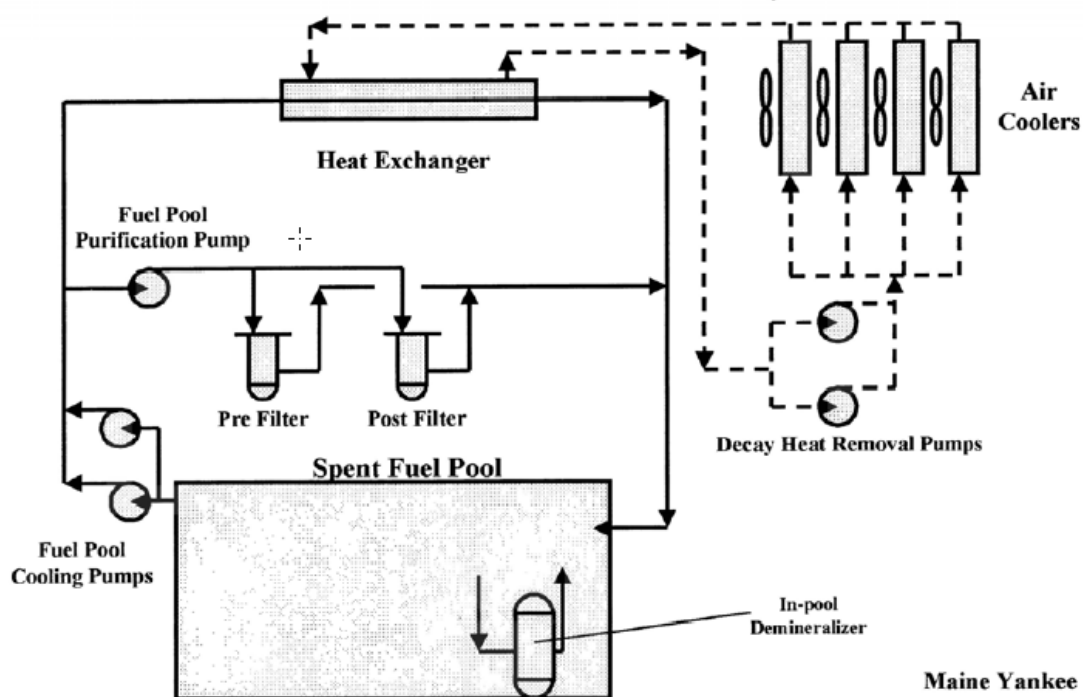


圖 3-9 Maine Yankee SFPI 簡圖

SFPI 監視參數包括：

- 池水溫度、等級和硼濃度 ；
- 冷卻及除污系統的溫度、壓力、輻射水準和構成的能力 ；
- 燃料池建築物輻射水準、通風流動、水池水位和火災探測。

1998 年 5 月，SFPI 開始運作發生一個意想不到的問題，導致重大利益相關者的參與。用於中間換熱器空氣冷卻的風扇是全時運作，在聲音調查後顯示，從廠址外一英里的距離，環境噪音的等級上升 10 分貝(DBA)。

增加的噪音水準引起大量電廠鄰居和其他當地居民關注。Maine Yankee 公共事務總監開始收到大量的電話詢問何時噪音會結束。"大約五年"的正確答案肯定沒有公眾會想聽。

此挑戰給社區諮詢小組(CAP)初期的成功機會。社區諮詢小組的運作提供收集社區的投入及 Maine Yankee 公眾說明的管道。1998 年 6 月 24 日的會議上，很多公眾人士投入此一問題而有很好的出席率。基於社區的大量投訴，Maine Yankee 才宣佈在社區諮詢小組(CAP)會議上評估減少噪音選項都，包括更換風扇馬達或建造的聲屏障。

1998 年 7 月社區諮詢小組(CAP)會議，Maine Yankee 已確定唯一可行的辦法是更換靜音風扇。這種修改成本約為 160,000 美元，由於靜音風扇熱交換效率較低，需到夏天結束才能採行。較涼秋天及冬天的氣候及較低由用過核子燃料衰變產生的負荷熱，才允許使用靜音風扇馬達。1998 年 9 月完成了修改。

此後 SFPI 繼續成功運作直至完成所有的用過核子燃料和燃料池元件轉移至貯存或處置。

### 燃料存儲方法的選擇

在除役過程早期定期執行的商業案例之一是長期燃料貯存選項的評估。有關貯存期間的問題是，最後停止運轉和預期能源部從廠址完成用過核子燃料和 GTCC 廢棄物傳輸之間的時間。這種情況下通常將成為決定使用用過核子燃料池島或乾式貯存系統(DCS)，通常被稱為"乾式與濕式"分析。

濕式與乾式分析是相對比較簡單。Maine Yankee 使用以下輸入他們的分析：

- 投入財務
  - 每年的營運成本（所有通脹和折扣率因子）
  - 薪資
  - 稅
  - 公用事業
  - NRC 規費
  - 資本性支出（密封鋼筒、密封筒、ISFSI 建造、用過核子燃料池的修改成本）
  - 影響除役的成本
- 风险分析—時間相關問題
  - DOE 在 2023 年前無法取走燃料
  - 密封鋼筒製造延誤
  - 密封鋼筒取照延誤

為每種類型的貯存發展輸入參數，預期燃料存放在現址的期間超過除役計畫。變數為每個輸入的參數用來確定哪些因子提供的決定影響最大。主要驅動因素預期為何年燃料將完成轉移。這是因為通常情況下，濕式貯存



比乾式貯存需要較低的資本支出，但需要更高的年度營運及維修成本。Maine Yankee 分析的結果顯示只要 DOE 不早於 2019 完全移除核子燃料，乾式貯存(DCS)具更好的經濟性。

一旦審查原來 DOC 投標，用於分析的附加資訊成為已知；即的 DCS 資本成本高於 Maine Yankee 原來的評估，並基於整體綜合計畫計畫，妨礙除役完成的濕式貯存以使用七年內為目標。

燃料貯存方法的選擇只有技術和經濟的參數，但是 Maine Yankee 選擇還包括其他利益有關者投入到燃料貯存選擇的決定。這種方法獲取利益有關者投入在關鍵計畫里程碑，成了 Maine Yankee 計畫過程中常見的做法。

1998 年 3 月，Maine Yankee 開始與社區諮詢小組(CAP)詳細的討論燃料貯存，並表示希望社區諮詢小組(CAP)和市民投入於決定中。在社區諮詢小組會議中 Maine Yankee 建議了資本成本大約 40-50 百萬美元乾式貯存(DCS)和因選擇 DCS 密封鋼筒設計的不同，數量為 45-65 桶。經營成本預計 2003 年—2023 年期間為 40 百萬美元。主管及其他民選的官員也舉行了類似的討論。為了收集社區的意見來做決定，Maine Yankee 對 DCS 的問題進行民意投票。1998 年 4 月進行，約 800 人參與。

結果顯示，Maine Yankee 和社區諮詢小組(CAP)選擇任何的用過核子燃料貯存選項，都將需要大量的公眾教育。為了更好地教育社區諮詢小組(CAP)作員，他們前往參觀現有乾式儲存設施的三個動力反應器（兩個尚在運轉和一個已停止運轉）。

燃料儲存成為社區諮詢小組(CAP) 每月會議主題持續幾個月。這種溝通努力導致最終於 1999 年 6 月做出結論，如果過渡時期用過核子燃料不得不在現今廠址上，他們寧願採用 DCS 的方法。

## 乾式貯存的活動

乾式貯存計畫的主要任務是取得相應數量的燃料貯存筒，及建造適當的貯存位置或裝載燃料之貯存筒的保護墊。貯存保護墊通常稱為 ISFSI 保護墊 (獨立使用過核子燃料貯存設施保護墊)。

選址與建建 ISFSI 保護墊提供另一個與利益相關者的互動機會，將於第 6 節討論。與 DOC 聯手的乾式貯存筒系統提供商為 NAC。所選的鋼筒系統是 NAC UMS 可傳送貯存筒(TSC)系統，多功能貯存筒系統設計容納 24 組用過核子燃料組件。在選定時，供應商尚未通過核管會 NRC 認證。

DOC 分包合約與鋼筒供應商只提供硬體。DOC 打算在用過核子燃料池內，執行裝載鋼筒，並傳送裝已裝載的鋼筒至 ISFSI 保護墊。

DOC 也建造 ISFSI 保護墊。在 DOC 合約取消時，尚未建造 ISFSI 保護墊。Maine Yankee 隨後商定保護墊的建造 (合約價值預估為 650 萬美元)。2000 年 5 月，Maine Yankee 與燃料密封鋼筒商接手 DOC 分包合約，並在 2000 年年底擴展的範圍，包括燃料傳送行動。

在 2002 年 1 月開始裝載和傳送超 C 材料(GTCC) (共四個密封鋼筒) 至 ISFSI 保護墊更轉讓。2002 年 8 月 24 日，Maine Yankee 在密封鋼筒承建商的協助下，傳送 60 桶中的第一桶用過核子燃料密封鋼筒，貯存在其 ISFSI 上。

在裝載用過核子燃料密封鋼筒並焊接屏蔽上蓋之後，密封鋼筒進行壓力測試、抽水及真空乾燥。之後密封鋼筒回填氬、密封通風和排水渠口、洩漏測試及焊接密封鋼筒的結構上蓋被到圓桶。然後放入垂直混凝土護箱 (VCC) 屏蔽，再傳送到 ISFSI 混凝土貯存墊。

所有主要燃料裝載、包裝及傳送行動，由訓練合格的密封鋼筒運轉轉變督導人員來指揮。整個燃料傳送強制嚴格使用和遵守程序導則。因解決問

題、關注或評估工作的進展情況，工作經常停止。詳細的輻射控制規劃證明在過程及工作施行中整合合理抑低 (ALARA) 控制。第一次由用過核子燃料池到貯存墊的燃料傳輸進展完成，全部的輻射暴露少於 200mrem (2mSv)。

原有的燃料傳送時程，約在 18 個月內將由用過核子燃料池移除核子燃料。整體燃料傳送計畫延誤正威脅著全部計畫時程，所以 Maine Yankee 為了一次處理多個鋼筒，購買第二個燃料傳送護箱。一個密封鋼筒能在用過核子燃料池裝載，而第二個裝載完燃料的密封鋼筒能在真空乾燥。使用第二個傳送護箱，希望減少燃料傳送工作到約 12 個月。

之後五個月，11 個密封鋼筒傳送至 ISFSI 貯存墊。2003 年 1 月，Maine Yankee 終止現有密封鋼筒供應商合約，因為他們無法履行現有合約。Maine Yankee 接手燃料裝載和傳送操作，並進行了完成計畫的選項評估。2003 年 4 月，針對此計畫其餘乾式貯存密封鋼筒硬體，對密封鋼筒供應商發出了新的合約。

Maine Yankee 繼續執行燃料管理和傳送操作。在 2004 年 2 月下旬結束燃料傳送行動。共有 60 個用過核子燃料密封鋼筒和四個 GTCC 密封鋼筒貯存在 ISFSI 貯存墊。Maine Yankee 平均裝載每個密封鋼筒速度是小於 8 個日曆天，在計畫末期，每桶裝載和傳送大約只要 5 天。

已完成的 ISFSI 貯存墊和燃料密封鋼筒，如下圖。



圖 3-10 Maine Yankee ISFSI 墊及乾式貯存筒

### 額外的燃料相關議題

Maine Yankee 早在電廠運轉就有燃料故障問題。要求當詳細燃料檢查和確認發生燃料故障問題，電廠就地有一個緊急計畫，以處理任何燃料碎片/顆粒。此緊急計畫需要處理輻射和保護兩個問題。執行裝載任何燃料密封鋼筒入之前，可能需進行此檢查和確認計畫。

傳送到 ISFSI 共有 1436 年燃料組件，近 300 件因實際或潛在的燃料故障被視為"非標準"燃料。偕同乾式貯存系統供應商進行具體審查至關重要，以確保正確授權鋼筒/護箱系統貯存內包括 GTCC 和非標準燃料的所有材料。

Maine Yankee 有硼測量設備射源這一類特殊處置的挑戰。此射源是鈾鉍 (Pu-Be) 中子源。其他設施也有這類射源或是銻-鉍 (Am-Be) 射源作為硼濃度測量或其他用途。在 Maine Yankee 的情況下，他們收到硼測量設備射源不是"與燃料相關"法律意見。因此，它不可以處置在乾式貯存系統。而射源活性可能還沒達到低放廢棄物掩埋場可以處置的水準。

之後 Maine Yankee 採用到美國能源部孤兒射源應用。最後是成功的，但處理射源需花費四年的時間和美國能源部互動來完成。

### 3.6 與主管機關和利害關係人之互動

#### 借鏡/建議

- 除役除了處理放射性的問題，在除役中處理非放射性問題同樣重要。
- 在計畫的早期，Maine Yankee 並非完全明白，完成除役需要非放射性的利益相關者和管制者的互動這一層面。
- 與各計畫管制機關建立信任至關重要。
- 在採取樣本和測量前，制定並取得廠址特性調查條件的協議。
- 包括於各個管制單位之間提交豁免請求，以減少保留記錄的需求，
- 談判往往比訴訟好。雖然 Maine Yankee 的各種談判的協定需要執行額外的任務，Maine Yankee 評估如果訴訟是整體計畫選定的方法，計畫完成將拖延了兩年。
- 獲取同意對核種碎片(NF)、劑量途徑及當你在特性調查過程中找到不同的核種碎片如何處置。
- 在除役計畫中，及早讓管制機關和利益相關者參與資料品質目標 (DQO) 過程。

- 與主要利益相關者設置 DQO 組織-基本上是最後一次停止運轉時。每月開一次會與社區諮詢小組(CAP)類似，討論執終止計畫所需的技術事項。
- 如果你有一名工程師可以以大眾瞭解的方式討論技術問題，並可以提供解答，是融入當地地區的重要資產。
- 如果您啟動一個類似於社區諮詢小組(CAP)的計畫，基本上最高管理層必須接受，或購買計畫，以便組織給它適當層度的關注。

### 概述

期望與管制機關的互動與利益相關者分開是合理的，但這往往不是 Maine Yankee 的情況。在電廠運轉期間，Maine Yankee 電廠是緬因州全民試圖關閉的三的目標之一。在每個案例中，緬因州選民選擇使電廠繼續運轉，不過這顯示利益相關者對些設施關切的程度。

利益相關者投入影響許多除役計畫關鍵管制的決定。本節提供討論了 Maine Yankee 與管制者和利益相關者互動在下列計畫主題中：

- 聯邦能源法規會(Federal Energy Regulatory Commission,FERC)費率案例
- ISFSI 保護墊的允許
- 碎石化除役方法
- 廠址外釋標準

為了向管制者和利益相關者說明，務必要瞭解所有可能的參加者。Maine Yankee 這聯邦和州政府機關兩者所管制。這些機關和組織包括：

- 美國核管會(U.S. NRC)
- 美國環保局(U.S. EPA)
- 聯邦能源法規會(U.S. FERC)

- 緬因州人事服務部健康工程組(Maine Department of Human Services (DHS), Division of Health Engineering)
- 緬因州環境保護部(Maine Department of Environmental Protection (DEP))
- 緬因州公眾宣傳辦公室(Maine Public Advocates Office)
- 緬因州公眾事業委員會(Maine Public Utilities Commission)
- 緬因州核能安全顧問-聯絡政府及議會的 (Maine Nuclear Safety Advisor – A liaison to the Governor and the Maine legislature)
- 緬因州放射性廢棄物及除役諮詢委員會(Maine Advisory Commission on Radioactive Waste and Decommissioning)
- 緬因州政府技術諮詢小組-提供除役議題獨立評估，並據此向主政者提供意見(Maine Governor's Technical Advisory Panel – Provides independent evaluation of technical decommissioning issues and to advise the Governor accordingly)

除了這些管制團體，還了一些團體介入 Maine Yankee 管制事宜，最值得注意的是海岸之友(FOTC)—反核污染。這個組織是一個積極的反核團體，在 Maine Yankee 運轉期間，一直反對好幾年。

早期除役計畫要求管制機關互動中的一個具體問題為記錄保留和處置。在電廠運轉期間，廣泛的記錄是保留現址於並可取得。記錄保留要求是載于 10CFR50 附錄 A 標準 I，其說明為：

"適當的記錄結構、系統和元件的設計、製造、安裝和測試，對安全是很重要的，核電單位持照者在整個電廠從頭到尾壽命，須保持或控制上述記錄。"

此要求對電廠運轉是相當清楚的，但除役期間就沒有那麼清楚。當除役繼續進行，符合法規的方式維護所有電廠運轉記錄變成很大的負擔。Maine Yankee 察覺到一封 2003 年 3 月由 NRC Office of General Counsel(OGC) 給 Trojan 核電廠的信從，其中指出 OGC 認為所有記錄應保存直到 NRC 許可證被終止。

在此一實際問題，必須對冷卻系統元件已放置於 Barnwell 和 Envirocare 低放廢棄物掩埋場，保持所有品質保證要求的文件，似乎並不是合理的。因此，Maine Yankee 提交 NRC 他自己的法規解釋，要求如果 NRC 不同意 Maine Yankee，NRC 考慮它們的解釋為正式的豁免請求。OGC 回應重申 Trojan 信件中所述情況，記錄需要維持至許可終止之前，並將請求作為豁免請求來處理。

2003 年 11 月 NRC 核准 Maine Yankee 豁免請求，允許處置基於該設施的條件不再需要的大量記錄。

### **美國聯邦能源管理委員會(Federal Energy Regulatory Commission FERC)費率案例 Rate Case**

當 1997 年 8 月在 Maine Yankee 停止運轉時，其除役的信託基金是不足以支付除役，估為 7 年 380 百萬美元，再加上用過核子燃料貯存和管理成本 128 百萬美元。1997 年 11 月 5 日，FERC 對 Maine Yankee 增加它的年度繳納基金額度由 14.9 百萬美元增至 36.4 百萬美元。

緬因州各機關和環保組織，連同在新英格蘭其他州的代表在 FERC 過程中進行介入。緬因州公共事業委員會、緬因州公眾宣傳辦公室和 FOTC 都是 Maine Yankee 的介入者。通過介入，每個團體取得 Maine Yankee



與 FERC 談判中的參與權。Maine Yankee 已經著手進行 FERC 聽證會，但轉而選擇了與介入者進行談判。1999 年 1 月中旬達成了和解協定。1999 年 6 月 FERC 核准和解協定。協定的規定如下：

- 每年收集 33.6 百萬美元並分配如下：
  - 26.8 百萬美元分配給拆除活動
  - 6.8 百萬美元分配給建造及運轉位於廠址的用過核子燃料貯存設施

此外，和解協定規定 Maine Yankee 的財產約 200 英畝的伊頓農場(Eaton Farm)，將捐給環保非營利組織或學校做環境教育、自然保護及公眾使用。此外 Maine Yankee 同意，由計畫提供 200,000 美元贈款給非營利組織。

協定要求 Maine Yankee 在 2004 年 1 月 1 日前重新提出，恢復未來管理除役後留在廠址的用過核子燃料成本比率案例。協定中解決審慎調查 Maine Yankee 關閉前的運轉。Maine Yankee 股東的股本回報率從 10.65% 減至 6.50%。此外，透過出售、租賃或處置土地的任何收益將流向客戶而不是股東。在協定中 Maine Yankee 同意關於用過核子燃料，對能源部繼續追求所有法律訴訟來解決。

Maine Yankee 同意一直到 2004 年 12 月 31 日 446.3 百萬美元（在 1998 年美元）的管理預算支出，支付所有除役和 ISFSI 相關的費用。如果 Maine Yankee 支出低於 436.3 百萬美元，Maine Yankee 股東將有機會獲得獎勵。如果支出超過 456 萬元，即使是謹慎地發生超支，Maine Yankee 公司股東須繳納 10% 的淨超支費用。任何輕率的花費將無法補償。

此外，如果所有的除役工作輻射暴露超過一般環境影響聲明場的址總劑量或除役期間的工業安全性能（事故率）超過每 20 萬小時工作 2 次，Maine Yankee 服從罰款。

此外，Maine Yankee 在比率情況下，與 FOTC 達成單獨協定：

- Maine Yankee 將進行關閉廠址的海洋沉積物田野調查；
- Maine Yankee 將提供 FOTC 有關任何重型元件水運的資訊；
- Maine Yankee 會與 FOTC 分享地下水樣本；
- Maine Yankee 會對將來廠址使用於核電用途施加限制；並且，
- Maine Yankee 還同意盡其最大的努力，結合展 ISFSI，反對任何增加 ISFSI 超過 Maine Yankee 所產生的廢棄物所必需的貯存設施。

#### **ISFSI 貯存墊的許可**

建造 ISFSI 貯存墊，Maine Yankee 需要獲得各種建築執照。在 1999 年 3 月初召開 Wiscasset 策畫委員會首次會議。Maine Yankee 還需要提交緬因州環境保護部廠址開發應用修訂。在 1999 年 5 月初提交。1999 年 8 月，應用計畫被轉送緬因州環境保護委員會(BEP)。BEP 假設有該執照的管轄權，在接獲準備進行的 ISFSI 而發出通知要求召開公聽會，包括放射性要求。Wiscasset 和 FOC 被同意參與。

在這種情況下，Maine Yankee 尋求訴訟途徑來確定是否 BEP 擁有在 ISFSI 在輻射方面的管轄權。1999 年 9 月初採取此項行動。2000 年 1 月，此案尚未得到解決再加上缺乏建築執照，直接影響了計畫的排程。2000 年 3 月，兩位聯邦法官迴避此案。為了向前邁進，Maine Yankee 請求 BEP 對管轄權案件進行時立即進行公聽會。這場公聽會定於 2000 年 5 月 10 日。

2000年5月5日聯邦法院裁定州政府沒有與計畫相關的放射性問題管轄權。如此限縮BEP的角色為土壤、濕地和看得見的衝擊。在BEP公聽會中唯一結果，要求Maine Yankee改善ISFSI視覺掩護。

2000年7月，Maine Yankee收到了國家和Wiscasset的施工執照。2000年9月發出ISFSI施工合約並開始建造ISFSI貯存墊。

### 除役的碎石化方法

DOC合約一方面要DOC在Maine Yankee所提供的合約一般限制下決定特定除役策略。由DOC選定的除役策略包括混凝土地面以上移除，整治混凝土至適當輻射標準，並在低於輻射標準等級的開放結構使用混凝土的填充材料。Maine Yankee與適當的管制機關和利益相關者追求此方法。

1999年9月17日社區諮詢小組(CAP)的會議期間，第一次公開討論這個碎石化概念。在DOC準備許可終止計畫(LTP)草案中討論了碎石化方法。11月DOC想將此LTP提交NRC。社區諮詢小組(CAP)成員對此方法有很多的問題和考量，此次的及接下來的社區諮詢小組(CAP)會議，對碎石化方法有"猛烈的"的討論。

許多社區諮詢小組(CAP)成員的看法，這種方法實質上是現場處置放射性材料，混凝土可能有探測水準的輻射，雖然低於規定LTP的界限值。

在這種情況下，Maine Yankee受訪者說，在社區諮詢小組(CAP)成員閱讀各章LTP草稿的碎石化方法之前，他們沒有充分準備或教育社區諮詢小組(CAP)成員，。

一般情況下，社區諮詢小組(CAP)成員和大眾大多反對此方法。Maine Yankee繼續追求該選項，包括2000年1月13日提交NRC LTP修訂版0。這是NRC的一個新議題，並促使NRC職員發布SECY-00-0041"執照終止

使用的碎石化混凝土拆除符合 10 CFR Part 20, Subpart E 輻射標準”。SECY 的目的，它指出的碎石化：

"似乎與執照終止的輻射性能標準相容。然而，在最後規則"考量的聲明"中特別不加以考量，而且存在一定的爭議。"(However, it was not specifically considered in the "Statement of Consideration" to the final rule, and is somewhat controversial.)"

由州政府採取各種行動試圖停止的碎石化方法。例如，政府（廢棄物特性調查中有很大的迴旋餘地）表示用破碎的混凝土將不可視為建築和拆除碎片(CDD)，而是將混凝土視為"特殊廢棄物"，它有自己的處置要求，並且產生"非同尋常的數量"。這將增加混凝土處置的費用。

此外，國家可能已採取行動，這可能需要 Maine Yankee 移走所有地下基礎，不只是移除 3 英尺以下的等級。Maine Yankee 估計如果此項要求成立，會增加總除役工程造價約 100 百萬美元。2000 年 3 月，國家立法採用，要求緬因州監測 Maine Yankee 的除役。它還定義混凝土為特殊廢棄物，並對廠址上任何殘留的放射性採用國家極限值 0.05 mrem/y (0.5  $\mu$ Sv/y)。

由於其他利益有關者相互作用的結果，Maine Yankee 已經同意所有途徑 10 mrem/y (0.1mSv/y)的加強清理水準及地下水途徑 4mrem/y(40  $\mu$ Sv/y)。在 2000 年 1 月提交給 NRC 的 LTP 註記本協定，反映於 2000 年 4 月通過的國家法例極限值中。

雖然國家立法仍然允許在某些限制條件下使用碎石化方法，基於利益相關者的廣泛關注，放棄了碎石化方法。在本報告訪談期間 Maine Yankee 職員指出，有沒有使用碎石化方法的可能最終無顯著差異。如果追求碎石化

方法，它將比簡單地拆除和運送到適當處置廠址，要求大幅更具體的測量及修復。

### 廠址外釋標準

在除役方面，廠址必須滿足"乾淨"的最終標準，與管制者和利益相關者最大互動並不令人驚訝。Maine Yankee 開始除役計畫，意圖進行足以滿足 NRC 經過所有途徑 25mrem/y(0.25 mSv/y)要求的整治措施和合理抑低要求的展顯。由於美國環保署預期要求沒有整治。最後要求的最終標準是大幅更具限制性。

如上所述，2000 年 1 月提交初始許可終止計畫(LTP)給 NRC，包括增強所有途徑輻射清理標準 10 mrem/y 和針對地下水途徑輻射清理標準 4mrem/y。這是 1997 年 8 月開始與利益相關者長久的互動的結果，當 FOTC 要求 Maine Yankee 符合環保署建議的輻射外釋標準 15mrem/y+4mrem/y 地下水。

到 1998 年 CAP 會議上討論 NRC 和 EPA 劑量限值的方法差異、討論劑量途徑分析、及其他方面。努力教育 CAP 成員技術方面的調查和劑量模型，提供有興趣的 CAP 成員 MARSSIM 協定訓練。MARSSIM（多機關輻射測量和現場調查手冊，Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual）是由美國 EPA、美國 NRC、美國國防部和美國能源部開發文件，對規劃、執行及評估環境和設施放射性調查以證明遵守劑量或風險的外釋法規，提供詳細指導。

在 1999 年 10 月 CAP 會議上處理的主要問題是 LTP 外釋標準和 EPA 外釋要求（非放射性）。在 1999 年 12 月接下來的 CAP 會議，四個單獨的緬因州部門以及 FOTC 聲明 LTP 應要求清理超出 NRC 要求之外。

2000 年 4 月 26 日，儘管 Maine Yankee 同意更具限制性，"增強"清理的標準，緬因州法 LD 2688 SP1084 被簽署成為法律。這項法律指定不受限制的外釋條件，所有途徑 10mrem/y 和地下水途徑 4mrem/y。它還指定的任何殘留的水泥瓦礫堆包含不大於 5,000dpm/100cm<sup>2</sup> 的殘餘放射性污染。

2000 年夏天，緬因州和 FOTC 上書請求 NRC 介入 Maine Yankee LTP。NRC 之後委任原子安全及授權委員會（ASLB）考慮請願和要求公聽會。Maine Yankee 被要求和接受聽證會暫緩，為了與緬因州和 FOTC 工作，以解決他們的問題，而非追求 ASLB 的聽證會。

經過 2000 年秋季和 2001 年春天舉行了超過 30 利益攸關者會議，導致修正的 LTP 發展基礎。2001 年 6 月已提交 NRC 的 LTP 版本 1 包含主要變化。2001 年 8 月提交了補充修訂（修訂版 2），包括從州政府和 FOTC 的補充意見。

2001 年 8 月底，與國家和 FOTC 達成和解協定，ASLB 接受不需舉行公聽會。解決關鍵包括以下方面：

### **Maine Yankee 與 Maine 州政府**

- Maine Yankee 和 Maine 州政府將與 NRC 一同工作決定潮間帶是否在廠址範圍邊界之內還是之外，因此在 10 CFR 50.82 範圍之內或之外。
- Maine Yankee 和 Maine 州政共同參與過程來解決 LTP 尚未解決的技術問題。這個技術問題解決過程（TIRP, Technical Issues Resolution

Process) 將使用 MARSSIM 所述的資料品質目標(Data Quality Objective)程序。

- 在隨後的 LTP 修訂，Maine Yankee 澄清 LTP 中的無限制外釋標準和 NRC 公告 81-07 之間的關係。
- Maine Yankee 按照 10 CFR 50.59 更改 LTP 會導致導出濃度引導水平 (DCGLs) 的增加，將優先通知州政府，並需請求 NRC 核准進如果 DCGL 增加了兩個或更多因子。
- Maine Yankee 同意從圍阻體水池取得額外的地下水進行放射化性學分析。
- Maine Yankee 將使用 LTP 採用的放射性結果並，也是由 RCRA 健康風險評估 (請參閱第十章節) 及編譯累積風險評估(Cumulative Risk Assessment)的輸出結果
- Maine Yankee 將有額外的生物和海洋採樣並進行分析。抽樣計畫將與 FOTC 共同發展。
- Maine Yankee 提供州政府使用在 LTP 所有參數的清單和其基礎，將它包括在之後 修訂的 LTP。
- Maine Yankee 及海岸之友
- Maine Yankee 會取樣和分析在前池和擴散排放管道中和周圍更多的樣本，並將結果和評估納入後續修訂的 LTP 中
- 在土壤污染高的地區，進行額外土壤和植被的樣本將取樣及分析。樣品的位置需 FOTC 同意。
- 一般情況下，Maine Yankee 承諾如果因執行 LTP 的需求，使用非現址區域為背景參考區域。

- Maine Yankee 同意在本地報紙刊登廣告詢問前 Maine Yankee 員工及承建商敘述任何洩漏、事件或其他操作處理放射性物料的消息，應包括在 Maine Yankee 廠址歷史評估。
- Maine Yankee 同意進入 Bailey Cove 的排水點進行流量測量，並對出水口進行採樣的。
- FOTC 應收到由地下水和海洋執行取樣的資訊與州政府達成的部分協議相同。
- 注意在 2001 年 11 月/12 月放射性廢棄物的解決方案的問題，

"協定似乎是美國第一個包括國家官員和環保主義者在制定商業核電廠執照止條款。它似乎也是第一個設置比聯邦的要求更嚴格的清理標準。"

Yankee LTP 和廠址歷史評估中的大量附加詳細資訊可以在下列報告中找到”EPRI 報告#1003426，設施執照終止文件的摘要和借鏡：三個核電廠所提出執照終止計畫的摘要”及”EPRI 報告#1009410，獲取核電廠除役的歷史知識：除役電廠廠址歷史評估摘要”。

### **社區諮詢小組 Community Advisory Panel (CAP)**

Maine Yankee 社區諮詢小組 (CAP) 成立於 1997 年，加強 Maine Yankee 的除役過程中的公眾參與的機會。CAP 代表當地社區。透過徹底檢查除役過程，CAP 的定位是對當地社區關注的關鍵問題提出諮詢意見給 Maine Yankee。



第一個社區諮詢小組(CAP)的發展行動之一是憲章的創立。此文件提供社區諮詢小組(CAP) 整體結構，其操作方法的和運作範圍—那些在其職權範圍內和那些在其職權範圍外。

第一年期間，社區諮詢小組(CAP)收到幾個技術教程關於輻射、除役程序、除役經費、廠址特性調查、 垃圾監測、緊急計畫和使用過核子燃料貯存等課題。社區諮詢小組(CAP)成員還參觀了在馬里蘭、科羅拉多州和密西根州的核電廠核子燃料貯存地點。這些訪問給予社區諮詢小組(CAP)成員有關乾貯存設施如何運作的第一手資料。

第一年熱切的學習後，1998 年 9 月社區諮詢小組(CAP)開會重新考慮它們的作用，並在 1999 年建立工作計畫。自那時之後，社區諮詢小組(CAP) 每年九月設立下一年度工作計畫。此年度規劃會議還提供了社區諮詢小組(CAP)評估工作計畫針對他們自己的可交付成果來評判與自我批判。

社區諮詢小組(CAP)也與其它諮詢事務委員會分享資訊。例如，Maine Yankee 社區諮詢小組(CAP)會見了 Connecticut Yankee, Big Rock Point 及 Millstone 公民小組。社區諮詢小組(CAP)成員還參加了關於除役的國內和國際會議並已經參觀過美國能源部所提出的 Yucca Mountain, Nevada 用過核子燃料貯存庫。

社區諮詢小組(CAP)提供有效的工具來獲取社會和利益相關者輸入，並向 Maine Yankee 提供不同團體統一溝通資訊的方式。社區諮詢小組(CAP)提供特別有效溝通方法包括用過核子燃料池風扇噪音和 Wiscasset 垃圾填埋場兩個早期實例。之前已討論了 SFPI 冷卻風扇的噪音。

在 Wiscasset 垃圾填埋場的事件引起關注是在社區諮詢小組(CAP)會議中所提出，1980 年代 Maine Yankee 據稱運送潛在污染的材料到當地的垃圾填埋場。Maine Yankee、NRC 及州主管機關一起進行詳細的調查。調查確

定，在 1986 年、1987 年，Maine Yankee 已運送的物料中放射性釋放從"袋式監視器"至垃圾填埋場。由於種種原因在 1987 年 Maine Yankee 停此袋式監視器的使用。調查還包括現在已關閉垃圾填埋場地點水的取樣和土地調查。NRC 和國家機關還執行類似的調查和取樣。調查和採樣結果顯示只有背景水準的輻射和污染。研究進展及結果，在社區諮詢小組(CAP)接下來的會議傳達，包括與一個聞名全國的獨立的保健物理學家討論對健康的影響。Maine Yankee 迅速採取行動及透明度，以及在其中進行了調查工作，建立與主管機關和利益相關者的信任。

社區諮詢小組(CAP)成員必不可少的一件事是，他們希望真正的問題需要解決，並提供輸入，Maine Yankee 將檢視並權衡他們的意見。很明顯這些會議對當地媒體報導將有新聞價值，所以至少第一年，媒體對會議的報導是典型的。Maine Yankee 的工作人員非常努力地防止社區諮詢小組(CAP)由任何媒體得知有關計畫的任何事時會驚訝—預期社區諮詢小組(CAP)由 Maine Yankee 得到第一手資訊。

對社區諮詢小組(CAP)、公司和社區的關鍵價值是電廠管理高層在相當定期的基礎上呈現在公眾面前，並預期以可以理解的方式回答公民問題。能夠以這種方式進行溝通，這是對一些廠址職員的挑戰。社區諮詢小組(CAP)也由 Maine Yankee 小心地準備提供演講文稿，並說明確保提供給公眾清楚、一致且易於理解的訊息，像是 LTP、燃料貯存和爆破拆除。

Maine Yankee 在呈現社區諮詢小組(CAP)材料之前，並沒有提供職員訓練。有些人毫無困難地從事此任務，其他人則隨著經驗而改進。公共事務處職員會幫助人們準備材料，會在社區諮詢小組(CAP)之前做排練，包括可能的公共的問題。經過一段時間，社區諮詢小組(CAP)與定期演講者建立信任。此外，每一次的社區諮詢小組(CAP)會議前，Maine Yankee 提供晚餐並

且廠址演講者將參與。這種社交互動幫助建立了社區諮詢小組(CAP)成員和演講者之間的融洽關係。

社區諮詢小組(CAP) 定期會議出席率從來不會太高(20-30 百分比)，社區諮詢小組(CAP)會質疑低出席。唯一真正吸引注意到是，由於媒體參與會議，公民可以在地區報紙中密切注意問題。唯一一次公眾參與率高是有一些問題直接影響到他們 (SFPI 風扇噪音的最大的一之)。

爆破拆除是另一個很好的例子，呈現社區諮詢小組(CAP)的價值。Maine Yankee 內部第一次討論爆破拆除，從利益相關者角度看似乎不太可能預期能成功。一旦從技術和經濟角度看它應該是強健的，向社區諮詢小組(CAP)報告。在多次的社區諮詢小組(CAP)會議上詳細的討論和提問，以便爆破拆除發生時，能被好地理解和較少公眾關注。同樣詳細的討論、規劃和溝通成功地應用在爆破拆除計畫的使用。

如果一家公司正在考慮社區諮詢小組或其等效組織，必須理解和接受的保持這種狀態所需的工作量。Maine Yankee 社區諮詢小組啟動時，"照料和餵養社區諮詢小組"本質上是一個全職的工作。為了成功建立信任和信譽，首兩年需要作出了大量的努力。除了工作人員的支援，提供 Maine Yankee 社區諮詢小組(CAP)成員旅費和教育機會的預算，以及每個社區諮詢小組會議之前，提供晚餐。名義上，這需要每年約 20000 美元款項，但 Maine Yankee 視為對基金提供真正的價值和付出的心血。

也許由其中一個受訪者的一個評論總結了 Maine Yankee 對 CAP 的看法。

"我絕對確信 CAP 是為什麼除役會成功的重要關鍵，因為它給社會各方一個機會，真正能一起熱烈的討論，互相理解社區和 Maine Yankee 利益的複雜問題。"

### 3.7 工程及技術的使用

#### 借鏡/建議

- 切割 — 爐內組件切割，確保 RFPs 詳細描述空氣和水質污染管制和限制。
- 切割 — 連續監測廢棄物碎片積累於高整合性容器中，需要多個勘查點，確保運送鋼筒劑量不會超標。在計畫期間其他遠端監控探測器亦安裝於高整合性容器內裏。
- 切割 — 在高整合性容器的內裏，使用遙控操作的封蓋工具來安裝蓋子，將有助於減少輻射暴露。
- 切割 — 需要設計能改進提高集塵和碎片移除的運作效率。
- 切割 — 所有的水下系統，模組化與快速分離的特性是需要的
- 切割 — 迴路(系統)除污之後完全沖洗並驗證一次迴路的清潔是必要的。
- 爆破拆除 — 炸藥是機械拆除的可行替代方案。對 Maine Yankee，使用炸藥以減少拆除時間，估計 3 — 5 倍。但是必須權衡改進的生產率與炸藥使用增加的成本。
- 爆破拆除 — 必須保持嚴格安全監督現場炸藥的傳輸和清點。
- 爆破拆除 — 審慎的做法是在一開始進入現場的爆炸檢測隊中包括一個爆炸操作者。
- 爆破拆除-當圍阻體內部混凝土已被移除，它減少約 99% 殘留活性 — 這讓使用炸藥的風險更低。

## 概述

Maine Yankee 除役涉及範圍廣泛的工程技能和使用技術來最佳化整體計畫結果。兩種技術的應用在此簡短描述。第一個為壓力容器內部組件切割，第二個為使用炸藥從事建築物拆除工作，包括渦輪建築、圍阻體極座標吊車及圍阻體。

### 壓力容器內部組切割

Framatome ANP 用水刀與機械切割執行核電廠壓力容器內部組性的拆解。使用非熱切割技術。2000 年 11 月開始切割作業動。初步估計重量是 363,000 磅，用壓力容器運送佔 70%、用運送箱運送佔 20%，10% (GTCC) 貯存在 ISFSI。活性估計 1.964 million Curies (7.267E16 Bq)，壓力容器運送佔 2%，用運送箱運送佔 15%，83%(GTCC) 與 ISFSI 一起貯存。整個計畫預計需要 57 人-rem (0.57 人-Sv) 來完成。該計畫最終需要僅 29 人-rem (0.29 人-Sv) 來完成。

切割系統在 Framatome 進行了全面"證明測試"。這項活動時間花費超過預期，並最終導致大約晚了八個月開始在廠址上的計畫。計畫全部的現場工作時間是正確的，所以結果是此計畫結束大約比預期延後八個月。

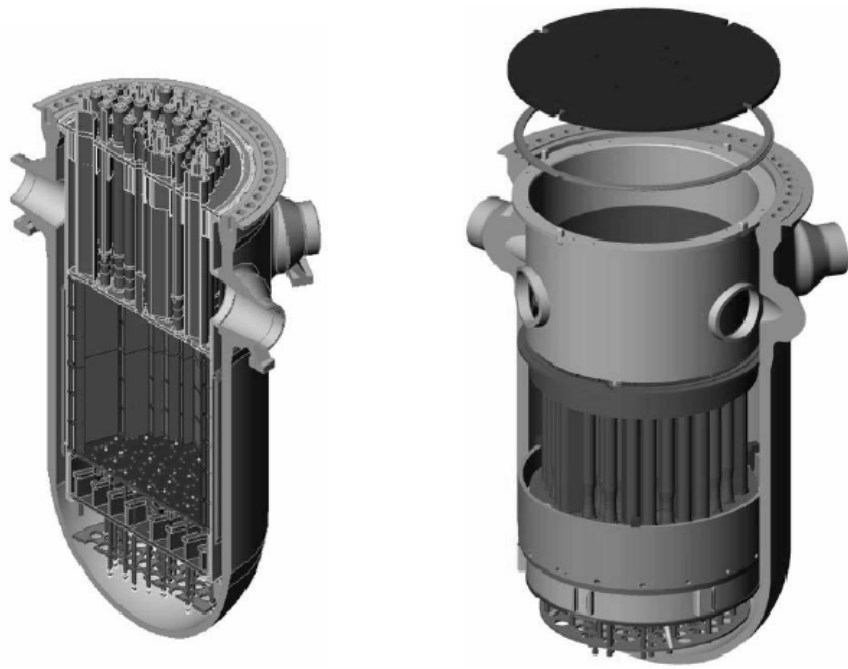


圖 3-11 Maine Yankee 尚未切割前的 RPV 及內部組件

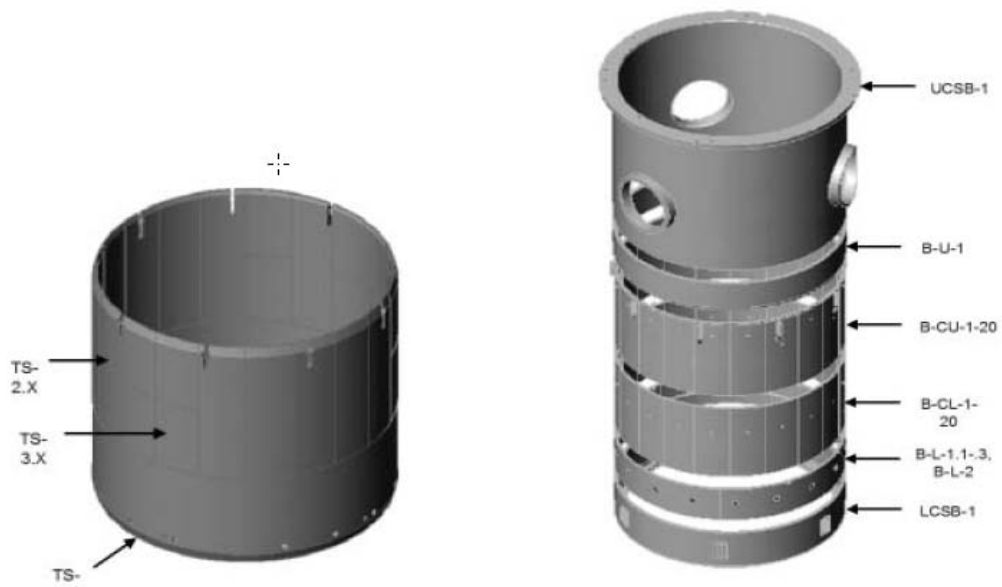


圖 3-12 Maine Yankee 計畫切割的熱屏蔽及爐心支撐桶

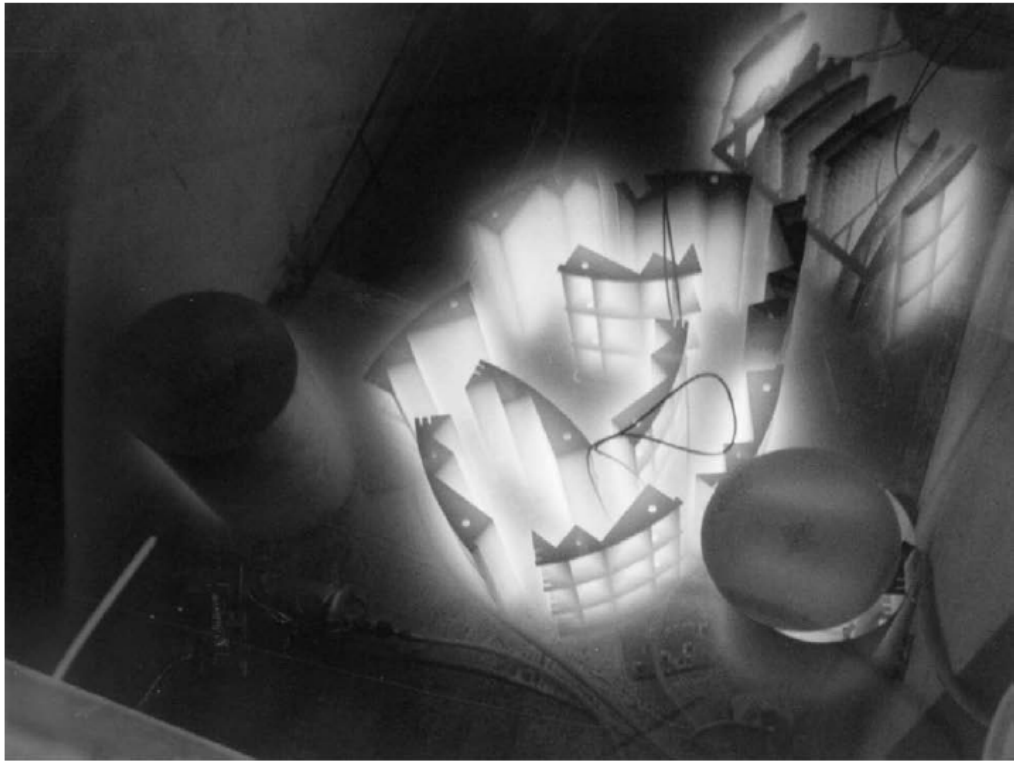


圖 3-13 Maine Yankee 內部組件的切割

Maine Yankee 由 Rowe 學習到要維持維持水質持續透明。切割方法是內部組件切成較大的部分，且不放入個別燃料室。對碎片和大破片製造特別運送箱容器。需要切割的數量大幅減少，因此減少碎片和切屑。發展細部 CAD/CAM 的基礎計畫來規劃切割、詳細的工具運動和放置切片進入運送箱。這允許運送箱裝載最佳化，需要較少的切割和切片移動。切掉了反應器壓力容器的視圖及爐內組件任何切割之前如圖 3-11 所示。對熱屏蔽和核心支撐桶的計畫切割如圖 3-12 顯示。圖 3-13 提供了內部部分分割的視圖。

反應器壓力容器 (RPV) 爐內組件切割在充滿水燃料填換腔(refueling cavity)內執行。密封腔的穿透孔使切割碎片留在反應器腔內。反應器腔的清

理和污染控制嚴格保持，以防止高放射性物質的積累。為了儘量減少交叉污染，切割是首先執行活度成分較少的元件，之後到進展到切割最高活度的材料。

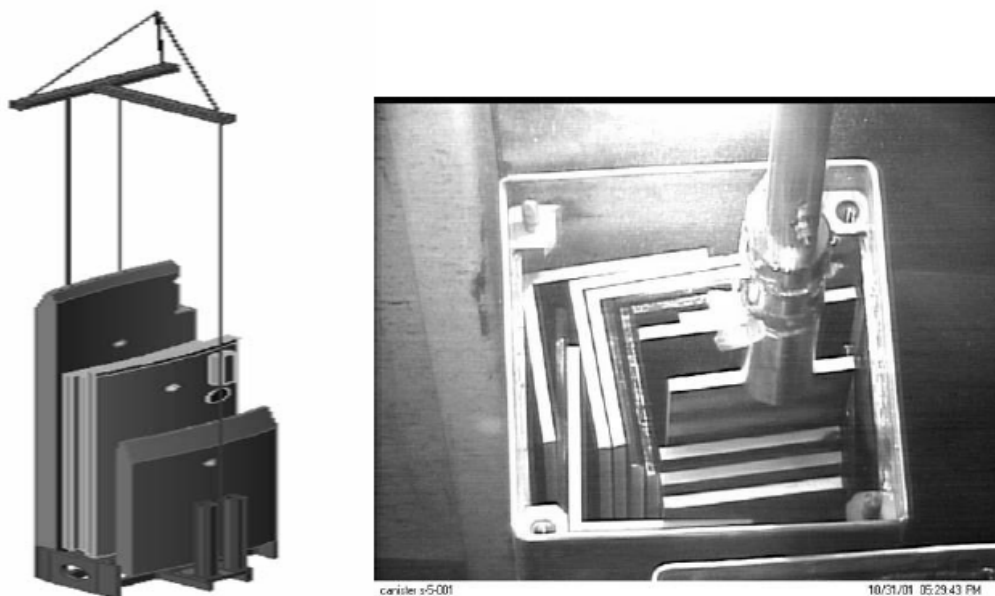


圖 3-14 Maine Yankee 切割件吊具及放置回壓力容器內

遙控的四軸遙控操作機械手執行水刀切割。客製化設計和製造吊具用來協助吊運和定位內部組件。在切割過程中發展一系列其他技術創新，包括切割中的視覺增強、廢棄物的捕捉和新認證的高量研磨切屑廢棄物容器。Maine Yankee 特別找到的遙控操作機械臂其控制精準度是不錯的。它允許非常精確的 x/y/z 位置控制的切割。最終結果是產生的 GTCC 只有四個密封鋼筒。約 2/3 切割完爐內組件能使用客制的吊具設備夠放回反應器壓力容器，如圖 3-14 中所示的後續處理。

爐內組件割過程中最困難的挑戰是在磨料水刀射流切割的石榴石碎片產生的膠體懸浮液去除。一開始測試顯示一個簡單的過濾系統會快速堵



塞。製造特別設計和有專利的過濾系統在實際水刀切割操作中使用。固體廢棄物收系統（Solid Waste Collection System ,SWCS）與分離腔體水處理系統（Cavity Water Treatment System, CWTS）一同使用，以便控制碎片清理和水質的清澈度。另一個挑戰是因不徹底的系統除污後沖洗，一開始反應器冷卻劑系統除污廢棄物殘留物的污物噴出。



圖 3-15 Maine Yankee RPV 準備送至 Barnwell

Maine Yankee 使用大於其 GTCC 廢棄物燃料元件大小的容器，以減少了所需的切割切路徑數量。這些廢棄物器容納於兩個鋼筒中，直徑約 6 英尺，8 英尺高。兩桶含 GTCC 廢棄物相互堆疊在一個廢棄物容器中。共有 4 桶廢棄物容器容納 GTCC 廢棄物和 60 桶為用過核子燃料被搬到乾式貯存存

桶和 ISFSI 貯存墊上放置。反應器壓力容器包含低活性爐內組件切片是在 2002 年 8 月由圍阻體移出，準備透過駁船運往 Barnwell 處置廠址。由於 Savannah 河水位太低，直到 2003 年 5 月反應器壓力容器仍在 Maine Yankee 廠址中 (圖 7-5)。(2003 年 6 月已至 Barnwell)

Maine Yankee 壓力容器內部組件切割連同其他壓力容器內部組件的切割，在 EPRI 報告# 1003029：反應堆壓力容器切割，詳細討論解除。本報告從上述 EPRI 報告獲得一部分資料。

### 使用爆破

在此章節與之前章節提到，由於儘可能要從用過核子燃料池和燃料建築物移除所有燃料，Maine Yankee 遇到一些工程上的延誤。此操作需要在最後的燃料建築物拆除之前完成。Maine Yankee 努力彌補某些計畫時程的一種方法是使用控制爆炸物拆除部分建築物。特別是，用於建築物拆除的標準機械拆除設備 (例如破碎機) 無法到達足夠高度對電廠結構上層/屋頂發生作用。

使用炸藥最初計算時，需建立了以下的設計要求。

- 損壞附近的結構、系統和元件，包括那些涉及用過核子燃料的安全貯存必須避免。這些可能受影響的結構、系統和元件包括燃料處理建築、使用過核子燃料池傳輸管、使用過核子燃料貯存架和使用過核子燃料元件。與其他非安全有關的結構、系統和元件可能會受到影響，包括建築通風和在開停止運轉對振動敏感的 345 kV 繼電器；
- 必須滿足廠址外氣相流出物 (包括粒子) 劑量限值；
- 使用炸藥必須符合所有適用的規則和條例；

- 分析必須證明可以安全地執行任務
- 在 ISFSI 附近的爆炸壓力必須不超過設計值 22 磅/平方英寸，否則現有的設計條件像是風負載壓力、粒子峰值速度，以及地面運動被用來評估使用爆炸物 ISFSI 的後果；
- 在 ISFSI 中用過核子燃料峰值地面速度限制定為 1inch/sec
- Wiscasset 鎮的條例使用炸藥需由國家法律規管。雖然不是必要的，通知國家消防辦公室此作業。

按照 10 CFR 50.59 所需的安全分析，進行額外的放射分析。分析指出拆除建築物所導致污染低度污染對公眾沒有重大風險。只要鬆散的表面污染平均 beta/gamma 污染水準低於 5,000dpm/100 平方釐米 (~83Bq/100 平方釐米) 和固定污染低於 500,000 dpm/100 平方釐米 (~ 8,300 Bq /100 平方釐米)，任何市民的重要器官劑量使用 Maine Yankee 異地劑量計算手冊(Maine Yankee Offsite Dose Calculation Manual)中的方法計算，在整個計畫將低於 0.066mrem(0.66  $\mu$  Sv)。鬆散的表面 20 Dpm/100 平方釐米(~ 0.33 Bq /100 平方釐米)污染和固定污染 100 dpm/100 平方釐米 (~1.68Bq/100 平方釐米)的 alpha 污染限制，在整個拆除工程計畫，結果為重要器官劑量 8.6E-3 mrem (8.6nSv)。

為了驗證計算和模型，Maine Yankee 和其爆破拆除承包商在包圍和噴灑建築物後執行低產出的爆炸試驗。包圍的建築物爆炸後，進入進行評估對電廠結構、系統和元件的影響（如果有）。Maine Yankee 報告燃料、燃料池、燃料池冷卻設備或結構牆，沒有發現任何損壞。此外，用過核子燃料池洩漏檢測系統沒有檢測到洩漏並且沒有發現燃料池水位變化。此外沒有顯著的空氣中放射性是爆破所生成的。

之後在 2003 年 4 月 25 日，對噴霧建築物進行爆破，安全代表和保健物理技術人員發現在噴霧建築中有幾個炸藥未能引爆。Maine Yankee 修正措施之一是確保任何未來爆破中，包括爆炸物處理人員會加入初步檢查項目團隊中。

### 汽機廠房拆除

渦輪建築物約 135 英尺 x 335 英尺 x 110 英尺高，約有 45000 平方英尺，包括有約 5.4 萬立方英尺的自由體積。事先的行動包括移除主要商品、旁邊石棉保護金屬和其他可能的污染物。結構物已經圓滿地完成最終廠址調查，並準備拆除。控制爆炸為首選的方法，在標準機械拆除前，軟化渦輪機座，並且爆破渦輪機建築物屋頂桁架，落至建築物的上層地板上。

渦輪建築物底座支撐汽渦輪發電機裝置，重約二千多萬磅。預計由底座產生的碎片可填充大約 100 台鐵路敞車，將在隨後的十周內運送到異地保存。

建築物的其餘部分由標準的機械方法結合爆破拆除方法來拆除。南邊的 8 個托架（約 240 英尺長）使用成型炸藥爆炸後降下，策略性放置在建築物支撐框架。北邊的部份的建築物由於鄰近重要安全設備使用機械來拆除。使用控制炸藥的決定是使工作人員更安全的做法，因為它減少了工作人員的工作時間，並降低了工作人員接觸到粉塵。整體過程產生較少的噪音和灰塵，使用標準設備完成拆除的總時間為，從大約兩個月，減少至大約兩個星期。

使用受控爆炸物的方法需進行可靠度安全分析。特別是影響由公眾進行評估（~ 0.5 英里從爆炸點）、工作人員、用過核子燃料池（從爆炸點 260

英尺)、反應器腔(從爆炸點 200 英尺)、345kV 開關站(從爆炸點 660 英尺)、ISFSI(從爆炸點 1000 英尺)和控制室(從爆炸點 77 英尺)。

Maine Yankee 協同建築拆除承包商和炸藥公司設計爆破，使地面振動將侷限於廠址設計基礎允許的 50% 之下(1 英寸/秒)。



圖 3-16 Maine Yankee 汽機柱腳炸藥放置後爆破

為了完成拆除，在渦輪建築物底座約三至四腳間距鑽深約 39 英尺的垂直孔，以放進炸藥的(圖 3-16)。屋頂桁架是用炸藥切斷降至渦輪甲板上。屋頂在汽輪機甲板上方 65 英尺或是地面上方 100 英尺的地方。屋頂降至地面，允許標準地面機械拆除(圖 3-17)



圖 3-17 在爆破之拆除後的 Maine Yankee 汽機廠房

### 極座標吊車的拆除

Maine Yankee 的 330 噸極座標吊車位處圍阻體內之高處，其拆除工程係先使用爆炸物使吊車掉落，方進行拆除作業，此應採取特殊的預防措施，以確保極座標吊車爆破和隨後的掉落不影響燃料池及相關設備的完整性，即地面振動不會影響其他的電廠結構和中央緬因州電力有限公司的 345kV 開關廠，在現場爆炸物適當的控制和轉移，並有適當的預防措施，採取控制和監視潛在釋放至廠址外的污染塵埃。即地面振動不會影響其他的電廠結構和中央緬因州電力有限公司的 345kV 開關廠，在現場爆炸物適當的控

制和轉移，並有適當的預防措施，採取控制和監視潛在釋放至廠址外的污染塵埃。

在吊車落下中，Maine Yankee 的準備有：

- 放置混凝土瓦礫和犧牲圍阻體內側混凝土，以減少地面震動；
- 安裝地震監測器或檢波器監察圍阻體內、ISFSI 板、在 345 千伏開關場、中控室、Westport Island 的地面震動；
- 在設備閘門前安裝三個由鏈條柵欄和纖維織物所製的氣體爆炸簾，以減少可能的氣體流出；
- 濕潤圍阻體的混凝土表面以減少粉塵；
- 在圍阻體內、設備閘門前及圍阻體外，安裝多個空氣監視器，以監控可能的氣體流出；
- 保持嚴格的安全監督傳送和核算所有爆炸品；
- 修改燃料輸送管，以防止在圍堵體拆除時損害，移除延伸至燃料添加腔部分管路
- 並焊接鋼板覆蓋和密封的燃料輸送管；
- 進行多個電廠簡報，有效地協調工作，並確保人員安全
- 進行與公眾的溝通和股東藉由新聞稿和電話聯繫。

施工保險公司建立使用炸藥的典型導則，指定的最大地面速度每秒 2 英寸。保險起見，Maine Yankee 工程計畫想把地面峰值速度限制極值為每秒 1 英寸。最大測量的地面運動，在圍堵體 20 英尺海拔的地震監測測量值是每秒 0.1 英寸。

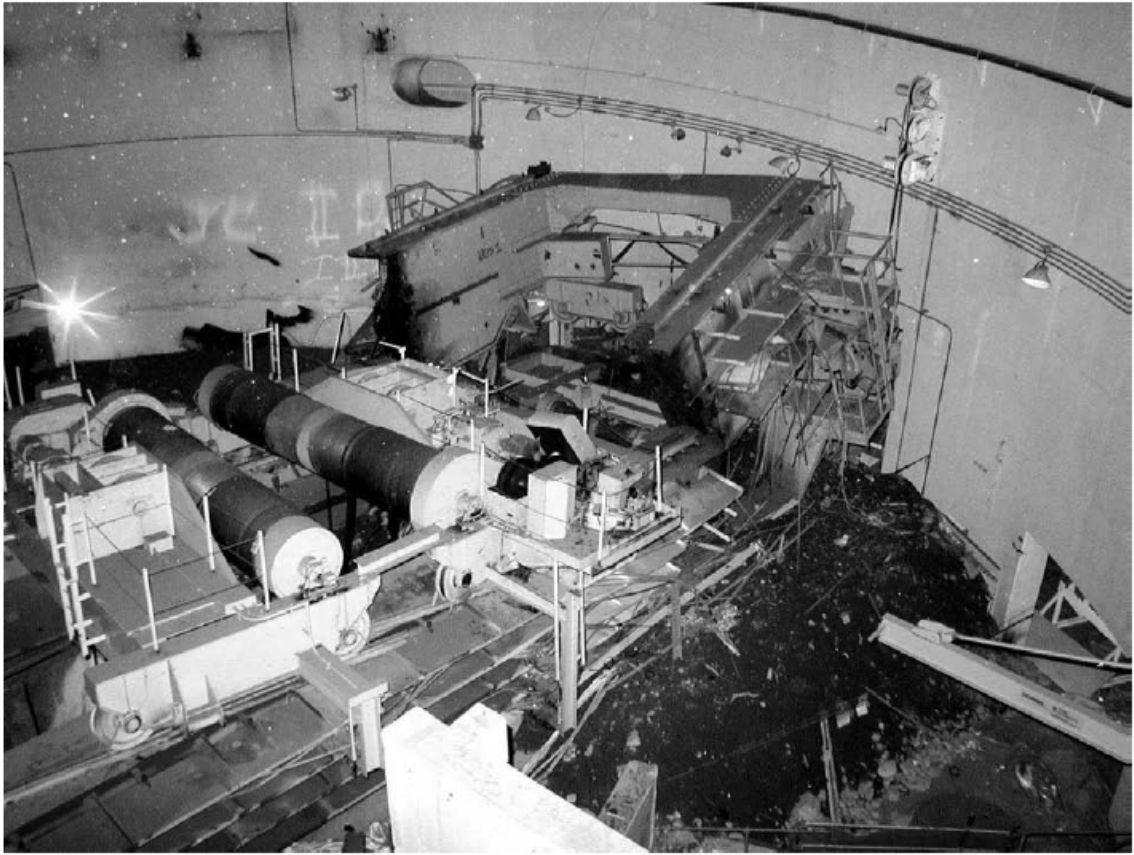


圖 3-18 在爆破分解之後的 Maine Yankee 極座標吊車

2002 年 12 月 19 日，在 Maine Yankee 安全地放倒 330 噸圍阻體建築物。Maine Yankee 爆破承包商用約 37 磅的聚能炸藥(RDX)切割極座標吊車成三個獨立的部分，允許它降落約 50 英尺到混凝土瓦礫和犧牲混凝土（圖 3-18）。沒有發現燃料、燃料池、燃料池冷卻設備及結構牆有任何損壞。此外，由用過核子燃料池洩漏檢測系統檢測到沒有洩漏，並且沒有燃料池水位變化。後續檢查圍阻體內，顯示的極座標吊車按計畫降落在犧牲混凝土的水泥瓦礫床上。大部分表面覆蓋著約 1/16 英寸厚的混凝土塵埃。發現照明和管道一些損壞，這並不意外，由於爆炸的結果。



空中爆炸還損毀圍阻體出入使用的臨時木門，位於前設備閘門外圍阻體氣體爆炸簾被爆風吹倒。吊車的掉落也散佈混凝土灰塵和低劑量的污染（即 1,000 dpm/100 cm<sup>2</sup> betagamma)到 20 英尺海平面高的主要輔助建築(PAB)的主要走廊。初步執行 PAB 內部、前設備閘門及外部設備閘門空氣採樣結果，均小於 0.3 DAC。

導出空氣濃度 (derived air concentration, DAC)DAC 單位：Bq/m<sup>3</sup>

### 圍阻體拆除



圖 3-19 Maine Yankee 圍阻體拆除準備



圖 3-20 Maine Yankee 圍阻體已準備好進行拆除

圍阻體是一個 150 英尺高圓柱體，直徑 144 英尺，牆的厚度有 4 英尺 6 英寸，基礎和圓頂厚度 2 英尺 6 英寸。它包含鋼內裏，由 3/8 到 1/2 英寸厚。類似於渦輪廠房拆除，重點是工作人員、市民和附近的結構（主要是用過核子燃料池）的安全。

2002 年 1 月開始規劃計畫，2004 年 9 月完成拆除。由於對 150 英尺高混凝土和鋼增強圍阻體的強壯性質，最終拆除之前有必要儘可能大幅削弱。使用液壓破碎錘和火焰切割機，通過圍阻體外殼和襯板切出 9 個 75 英尺高的矩形開口。這導致拆除了三分之二的圍阻體混凝土和鋼或約一千三百多萬磅的材料。此外，所有的 2.25 英寸直徑豎向鋼筋—他們大約 1,360

根一被切斷 (圖 3-19 和 3-20)。之後柱子橫向鑽孔安裝最終拆除用的炸藥 1100 磅。在拆除之前的鐵絲網和織物包裹著柱子儘量減少飛散的碎片。

分析確定即使有大型矩形開口，圍阻體仍將能夠抵抗每小時 40 英里風力。之後實施行政管制，如果風速超過每小時 40 英里禁止人員進入結構內及結構周圍。

爆炸荷載考慮包括拱門的爆破拆除和因為它拆除後圍阻體穹頂倒塌而發展高壓氣囊。為了使穹頂傾斜並位於邊緣，拆除順序的設計為循著圓周的進行。估計的穹頂和圍阻體的剩餘部分重 10,450 噸。

2004 年 9 月 17 日對圍阻體建築安全地爆炸拆除，第一次以這種方式進行拆除前核電廠圍阻體建築。此拆除造成約二十二萬磅的瓦礫。

### 3.8 廠址關閉議題

#### 借鏡/建議

- 廠址外釋 — 對整個計畫時程，可想而知最終狀態調查 (FSS) 為終結點及以除役工作的結構來支持此終結點。
- 廠址外釋 — 最終廠址調查中的核種碎片，不適用於遵照 10 CFR 61 核種碎片
- 廠址外釋 — Maine Yankee 發展聯合運作輻射保護/最終狀態調查小組。Maine Yankee 有一批最終狀態調查 (FSS) 核心技術人員，但很多技術人員交叉訓練。這讓的工作時程和工作負荷更具靈活性。
- 廠址外釋 — 混凝土除污，比僅僅拆除和處置廢棄物 ("rip and ship") 作業花了更多時間。該計畫花了太多時間找尋裂縫。只好決定圍阻體內部的混凝土為全部移除。這導致運送約 900 萬磅的混凝土，但大幅減少特性調查及反覆除污的工作。這也使得 FSS 更容易執行。

- 廠址外釋 — 遵從天然資源保育及回復法和國家法規，比預期有更大的問題。一些 RCRA 工作在 NRC 執照終止後仍會繼續。
- 廠址外釋 — 改進土壤隔離和監測的是有用的。
- 廠址外釋 — Maine Yankee 沒有及早具有對土壤整治方法的想法。
- 廠址外釋 — 對 FSS 中的田野資料做更多的品質控制。Maine Yankee 有許多抄寫的錯誤。
- 廠址外釋 — 早點實施標準的資料庫，它可以保持資料一致性（例如、16 平方釐米與 15.5 平方釐米探測區域，這類簡單的例子）。Maine Yankee 使用試算表用於資料分析。
- 廠址外釋 — 除了 DOC 所需的特性調查工作外，與早期的特性調查一同作業，使他們的數據更能支持 FSS。
- 廠址外釋 — Maine Yankee 試圖統一 FSS/RCRA 的採樣要求，但確實無法完成，因管制規定要求有所差異。
- 廠址外釋 — 儀器在現場使前請確認檢查過所有儀器（如溫度範圍、外形、效能、使用物理參數） — FSS 測量開始之前瞭解所有上述的資訊。

### 執照終止計畫的議題

Maine Yankee 執照終止計畫為下列材料評估的潛在劑量。

- Contaminated basement surfaces; 污染的地下室表面;
- Embedded piping; 埋置的管道;
- Activated concrete/rebar; 活化的混凝土/鋼筋;
- Groundwater; 地下水
- Surface water; 地面水

- Surface soil; 表層土壤
- Buried piping/conduit; 埋地管道/管道
- Deep soils; and, 深層土壤
- Forebay sediment. 沉澱前池

每種材料的劑量進行了估計和加總，以確定關鍵群體平均成員的總劑量。

考慮由九種受污染的材料及五種環境介質放射性核種轉移後，確定可能對在地農民傳送的劑量。

這些是地下水、表層土壤、深層土壤、地表水、地下層填補。沉澱前池泥沙不會輕易轉換到五個環境介質，所以分開評估。在地農民被選為劑量評估的關鍵群體。每一種介質的劑量評估基礎如下文說明。

### 劑量評估模型 – 混凝土

假設所有混凝土表面的污染對釋放並已經滲入地下層和水混合在一起。污染被假設為最大 0.1 釐米的混凝土內。最高的表面積體積比獲得的濃度最高。發現在噴灑建築物地下層的最高比率 1.7 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>。因此這一比率用於確定容積污染的所有受污染的地下層結構。Maine Yankee 分析顯示平均混凝土密度為 2.2 g/cm<sup>3</sup>。

地下層表面污染的結果透過飲水、灌溉及直接暴露的途徑處於暴露風險。飲用水劑量的獲得，以地下層水的濃度(pCi/l)，乘以每年的水攝取量(478 l/y per NRC guidance)，再乘以 Federal Guidance Report No. 11 中適當的劑量轉換因子 (FGR-11 – Limiting Values of Radionuclide Intake and Air Concentration and Dose Conversion Factors for Inhalation, Submersion and Ingestion, Ref. 21)。灌溉劑量的獲得，以地下層的水濃度(pCi/l)乘以影響區

域的灌溉率 (0.274 l/m<sup>2</sup>/d)，結果為適用的土壤濃度。土壤濃度(pCi/l)的轉換劑量使用 NUREG1727，表 C2.2 值。直接劑量用一個標準的行業屏蔽規範 3 英尺掩蓋、10000 平方米的影響面積和一個 5.8 米的深度 (相當於最深的地下層)。由此產生的暴露率乘以 0.1101，此室外佔有因子由 DandD1.0 版所算出 (NRC 批准使用於除役劑量途徑分析的電腦程式)。

也評估了地下層混凝土的活化混凝土和鋼筋。顯示每個不同的核種混合和特性顯示鋼筋比周圍鋼筋混凝土，含有高約 1.9 倍活化總濃度。然而計算的劑量顯示，在混凝土中鋼筋的總貢獻了不到一半。因此決定假設整個體積由混凝土所組成，忽略鋼筋的貢獻 — 提供一個保守的劑量計算。

嵌入式管道所使用的方法，其實是類似污染的地下層混凝土中使用的方法。任何剩下的嵌入式管道，決定潛在的放射性核種盤查，並計算假設這整個盤查散布到 最糟情況的地下層容積中。

表層土壤的計算使用 NRC 篩選值，NUREG 1727 表 C2.3 中的值。分別發展計算深層土，及作為僅適用於頂部 15 釐米的土壤篩選值。在地農民通過直接暴露途徑和地下水土壤深層暴露。正如任何挖掘能移動深層土壤的表面，土壤深層導出濃度指標水準 (DCGL) 不超過表面土壤的 DCGL。直接接觸貢獻假定 15 釐米覆蓋 (表面土壤) 和 48,500 m<sup>3</sup> 體積來源。此值表示基本上整體禁區內的土壤降到岩床。用預設 DandD 值及業界屏蔽程式碼推導直接暴露貢獻室內據有 (0.6571y)，室外據有 (0.1101 Y) 和外部輻射屏蔽因子 (0.5512)。

採用 RESRAD 計算基於每個核種單位濃度的最大地下水貢獻 (DOE 發展的劑量通路分析電腦程式碼)。

### 劑量評估模型 - 地下水

對現有地下水發展分別計算。在適用劑量計算中包括其他污染物質的潛在額外地下水貢獻。地下水劑量計算從廠址監測井最高個別地下水取樣結果。在廠址地下水中發現的唯一核種 H-3 的最大濃度是 6812 pCi/l。劑量計算使用 478 l/y 的攝入量，劑量換算因子 FGR-11。

#### 劑量評估模型 - 表層水

消防水池和反射池是廠址內表面水的唯一來源。沒有電廠的消防水池發現衍生核種，因此只有反射池需進行劑量評估。反射池 H-3 被確定的最大值為 960 pCi/l。雖然這可能是一個背景水準，同樣劑量計算輸入。除了直接飲水，潛在的途徑是攝食魚。劑量計算透過結合水攝入量的結果（如在上述的地下水計算獲得），再使用 DandD 魚消費率和水到魚類污染傳輸率為 1。

#### 劑量評估模型 - 管路和管道

此計算評估殘餘的地下管路和管道——未嵌在在混凝土中。此材料應包含很少或沒有殘留污染。管道被假定為均勻受污染，和整個盤存進入土量相當於假定整個管道已解體的管道的內部體積。造成污染的土壤產生一個潛在的劑量，在上面討論的深層土壤的方法來計算，除了一個三英尺覆蓋的假設，而不是 15 厘米。導出的 DCGLs 將被限制為不超過表面土壤的 DCGLs。

#### 劑量評估模型 - 沉澱前池

初步特性調查指出正向成果，鈷 60 0.04 — 11.2 pCi/g，Cs-137 小於最小可探測活性 0.53 pCi/g。最小存在的沉積物在河堤防及低潮時之間岩石被發現。考量電廠操作過程中高流量的水通過運河，小泥沙體積是合理的。額外的特性調查注意以下內容：

- Co-60 – 31.7 pCi/g;

- Fe-55 – 13.6 pCi/g;
- Ni-63 – 8.9 pCi/g;
- Cs-137 – 1.2 pCi/g; and,
- Sb-125 – 0.4 pCi/g.

劑量評估假設一層 1inch 的沈積物位於直徑 2 英尺的岩盤，個人站或步行經過了岩盤。要考慮的途徑是直接接觸和攝入。吸入被認為不合理，因為任何時候泥沙淹沒或潮濕。結果劑量低於約土壤暴露貢獻的 8 倍。

### 圍阻體混凝土的議題

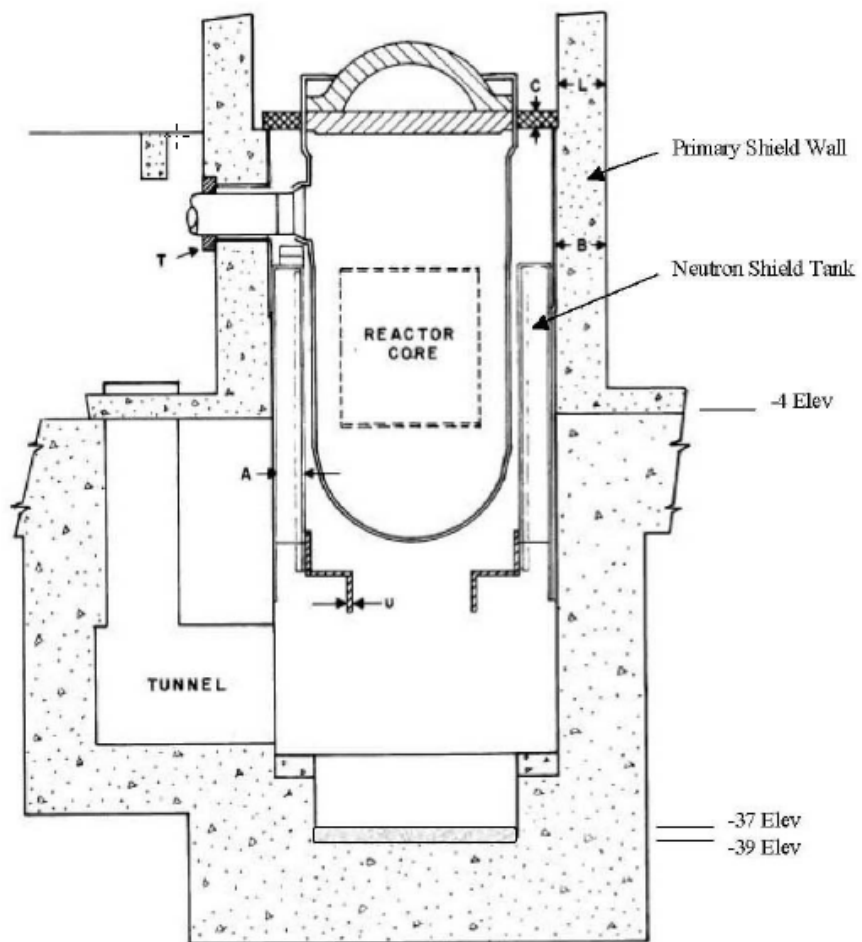


圖 3-21 Maine Yankee RPV 及屏蔽



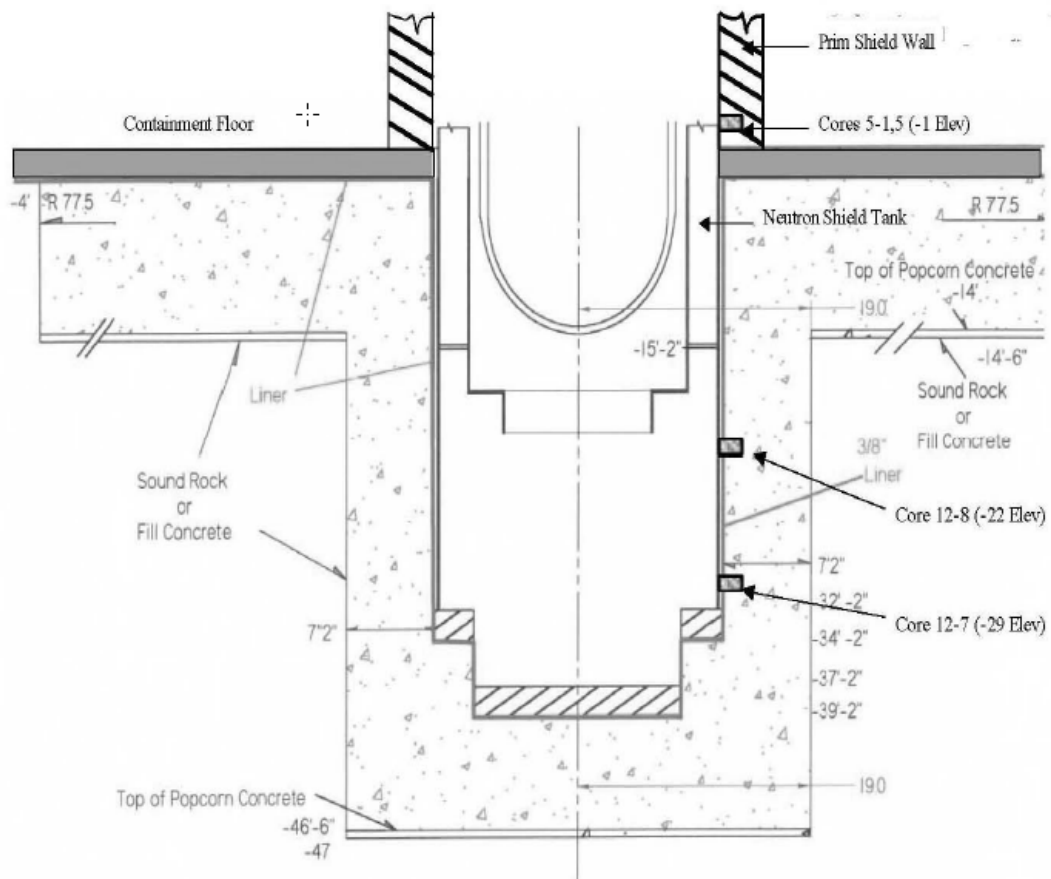


圖 3-22 Maine Yankee 爐心量測儀器井

特性調查和檢整較低樓層的圍阻體顯示，爐心量測儀器 (In-Core-Instrumentation, ICI) 坑襯板背後有幾英寸活化混凝土。核准許可終止計畫指定符合 DCGL 水準，便可移除活性的混凝土。反應器壓力容器被封閉，並由主屏蔽牆和 ICI 水池所屏蔽（圖 3-21 和 3-22）的組合。檢整此活化的混凝土，被認為是一個重要的工業安全風險，並會造成額外人員輻射暴露，與輻射防護合理抑低原則不一致。

修訂的計畫是移除襯板的所有混凝土，移除襯板背後 6-8 英寸，位於中子屏蔽槽下大約 20 英尺的活化混凝土。計算表顯示有 7% 的活化混凝土位於襯板下。為了完成這項計畫，需要修訂許可終止計畫。更改修訂地下室混

凝土填充模型允許額外活化凝土（提高凝土地下室 DCGL）和減少在表面和深層土壤 DCGL 總額預計對在地農民的暴露風險，所有途徑不會超過 10 mrem/y 和 地下水途徑 4 mrem/y 地下室凝土填充模式。

### 沉澱前池和擴散器修復問題



圖 3-23 Maine Yankee 沉澱前池 – 尚未整治前

1



圖 3-24 Maine Yankee 沉澱前池 - 特性調查及整治



圖 3-25 Maine Yankee 沉澱前池 - 圍堤岩芯抽樣



圖 3-26 Maine Yankee 沉澱前池 - 整治後

Maine Yankee 沉澱前池和擴散器提供的取水和排放循環水進入 Back River。圖 3-23 顯示之前，修復前的沉澱前池。修復計畫要求填高沉澱前池，以便變成天然高地沼澤（圖 3-26）。所用的劑量模型假定堤岸土壤污染的深度為兩英尺，並包括區域中從飲水和灌溉用水預計的劑量。特性調查與修復沉澱前池地下，亦執行使用專業伽馬譜設備。

修復沉澱前池的需要大量的努力。有一個較大的不確定性為堆成的石基後面污染的水準和深度（沿著沉澱前池池岸，直徑一到兩英尺的岩石）。決定執行一項無聊的活動，早期大約一百萬美金用來評估污染物和說明修復過程架構（圖 3-25）。最初的猜測是污染物達兩英尺深（基於非常少的採

樣)。實際深度基於鑽孔，污染物深度僅兩英寸左右，沒有兩英尺。這允許一個大幅降低在沉澱前池上進行修復。

### 廠址邊界議題

一個廠址可能存在多種廠址邊界，取決於管制者和法規的目的。因為很多原因，廠址邊界很重要。除役目標之一是儘可能縮小廠址區域（一是完成執照區域的消除或減少到只是所需的 ISFSI 的大小）。

要考慮的第一個廠址邊界如邊界的技術規格和/或更新的最終安全分析報告（UFSAR）中所述。研究確定廠址邊界在 Maine Yankee 隨著時間的推移發生了變化。技術規格中有一點記載廠址邊界。藉由許可證修訂移除技術規範中的廠址邊界，之後放入允許進行更改的 UFSAR，依據 10 CFR 50.59 的規定不需 NRC 批准。

廠址邊界的下一個考量是根據 10 CFR 100 規定的排除區域邊界 (Exclusion Area Boundary)，Maine Yankee 的情況為在 2004 年初已變更改。如果及早在除役過程中，廠址緊急計畫能夠獲得適當的豁免，改變這一邊界的位置變得不是那麼重要。減少排除區域邊界可能非常有用，如果減少了的邊界，您可以及早一塊一塊地處置或變賣緩衝地帶土地，如果不再有"擁有或控制土地"。在土地處置之前，還需要審視邊界安全和放射性廢棄物。

減少應急計畫區 (Emergency Planning Zone, EPZ) 變成為與利益相關者的互動。Maine Yankee 讓當地市政府選擇接管應急警報的經費，或是 Maine Yankee 付費將應急警報撤下。在多年的運作中，Maine Yankee 提供了各種類型的設備給當地政府做緊急情況管理。一旦應急計畫區的區域減少，廠外的回應支援不再是必需的，但是 Maine Yankee 允許各城鎮保有這些設備。

ISFSI 擴充中也需要新的邊界。邊界每個需要根據 10CFR 72 至少 100 米。ISFSI 本身占地面積約 8.5 畝，但 NRC 安全設計基準的威脅評估導致需建立由 ISFSI 控制區延伸 300 米（約 100 畝）的周邊。

### 最終廠址外釋議題

在執照中止計畫 LTP 中確認已完成的行動披露，Maine Yankee 需要繼續與各管制機關對話。根據國家規定清理非放射性的關閉操作需要類似的對話。按照資源保護和恢復法 (Resource Conservation and Recovery Act, RCRA) 的要求，計畫制定了廠址具體關閉計畫，包括品質保證計畫。這些計畫被提交緬因州 DEP 核可及嚴格審查，而且場所關閉時強制執行。一項指定操作是發展累積的風險評估，結合殘留的放射性和非放射性污染物風險。"Backlands"的累積的風險評估在附錄 F.中。Backlands 是 Eaton Farm and North Ferry Road 區域的口語稱呼。

擴散器管路最終所需修復的決定是另一個與利益相關者的互動的課程。在緬因州只要主要的實際操作在水道的 100 英尺內，會觸及國家資源許可法 (National Resources Permit Act, NRPA)。NRPA 要求，所有適用的州和聯邦機關參與在特定的環境行動利益，確定最有利的結束狀態。

為支援這一過程，Maine Yankee 執行範圍廣泛的海洋取樣和擴散器管的分析，確定了若干生存於此的生物。當所有機關都提供意見時，整體環境改善的結論是不要移擴壓器管。這是另一個活動，最符合早期除役過程的工作結果會影響整體的除役範圍和時間表。

注意到關於 LTP 執行一個附加問題。LTP 和 NUREG 1757 陳述最後一次檢驗記錄需要什麼，Maine Yankee 發展滿足這兩份文件的最後一次檢驗記錄。NRC 審查者會要求除役、修復資訊、HSA 資料、釋放記錄等有關的

附加資料。Maine Yankee LTP 或 NUREG 的文件，不需要這些資料。解決這個察覺文件要求的差異，耗費了一些時間來解決，目前仍在進行。

### 土地轉移議題

在 1999-2000 年，Maine Yankee 開始留心怎樣處理廠址的資產。所需的第一個決定影響 Eaton Farm 區域。這是大約畝 200 的林地，公司用於野餐和作為緩衝區。在 FERC 協定中 Maine Yankee 同意此資產捐贈給非營利組織，以保留給公眾進入，保存和環境教育。

三個組織回應 Maine Yankee 請求建議書 (RFPs) 使用此土地。審查投標書的優點後，Maine Yankee 同意轉讓 Eaton Farm 區域給 Chewonki 基金會。這份報告時間點，轉讓尚未結束。

另一宗土地的轉讓確定為 North Ferry Road 區域。這個一塊 430 畝土地於 2002 年 7 月，最先免除 NRC 許可。這個一塊土地在 2004 年 8 月 5 日出售給 Wiscasset 小鎮創建的非營利的發展組織。此實體接下來來出售給一家開發公司專門從事"具有挑戰性資產"的重建。RCRA 外釋放需比 NRC 釋放花更多努力，主要歸因於財產遺留的垃圾。此垃圾並不是從 Maine Yankee 的活動，而是來自本地的個人。

Maine Yankee 將保留約 100-150 畝，主要構成 Bailey Point 半島。此區域包含舊址工業區和當前的 ISFSI。

所有潛在房地產接收人要求 Maine Yankee 保障資產接收人對所有核危險和其他污染物。Maine Yankee 教育的潛在買家 10 CFR 20 許可終止要求的規定。相對於化學污染物，買方取得“no action”的證書，國家述明國家發現該地區由化學污染狀態轉變為清潔狀態。

需要產生大量的資料潛在不動產接收人。資訊的範例包括 LTP 調查、RCRA 調查、從運轉期間的例行污水報告(放射和化學)、整體規管性能等。

許多資訊收集說明潛在污染調查資訊的概念，並證明測量殘餘風險。隨著廠址減少了其所需的記錄，並且發送了一些長期使用的記錄到異地貯存，重要的是確認財產轉讓盡責調查可能需要的記錄，並保持這些記錄可隨時取用。

### 資產稅

在運轉期間，Maine Yankee 向 Wiscasset 支付一年大約 12 百萬美元。這佔地方政府的約 93% 房地產稅收。從歷史上看，廠址進入稅務法律責任的多年期協定。接下來電廠關閉，地方政府同意減少稅收最初 ~ 6.1 萬美元。兩年後簽訂了 2002 年年度的稅款是約 1 百萬美元。

與小鎮生更多的討論和談判發，但沒有造成進一步的協定。當地房地產評估委員會，重新評估該資產為具有價值大約為 263 萬美元。這項評估不是土地價值的基礎上本身，而此價值基於一個事實，即其餘資產包含 ISFSI，在 Maine Yankee 這是唯一可以貯存用過核子燃料廠址。因此，被認為具有很高的價值。

Maine Yankee 的立場是緬因州的法律指示資產價值之確定基於有人願意支付此此資產的基礎上，ISFSI 當然不值 263 萬美元。Maine Yankee 正式提出價值評定的辯駁，目前的計畫準備資產稅上訴，2005 年 2 月由緬因州稅資產稅上訴委員會聆訊。

### 3.9 現狀

在編寫本報告時，在 Maine Yankee 廠址殘留的結構是 ISFSI、兩個倉庫、一座行政大樓和幾個辦公室拖車。ISFSI 無關的建築物，在短期內會消除。從圍阻體拆除剩下瓦礫移離現場。剩下的主要操作為最終廠址調查和



計畫結束活動的結論。目前的計畫實際工作 2005 年 3 月以全部完成，預計 2005 年年中終止許可。(2005 年 10 取得終止許可)

除了 ISFSI 操作外，將繼續完成對非輻射污染物 RCRA 關閉作業，及地下水監測以滿足與緬因州達成之協議。

從 1997 年到 2005 年的計畫成本，目前估計共 495 萬美元，如下所示：

表 3-2 1997-2005 計畫花費總結

| Cost Element   | Cost (\$ Million) |
|--|-------------------|
| Major Contracts – Low level waste, demolition, Radiation protection, DOC | 298               |
| Maine Yankee labor and staff augmentation                                | 153               |
| Support Contracts (Security, Engineering, Accounting)                    | 49                |
| Fees and Property Taxes  | 23                |
| Materials and Supplies   | 11                |
| Insurances   | 7                 |
| Purchased Power  | 6                 |
| Other  | 11                |
| Settlements from contract disputes                                       | (63)              |

該計畫共導致 525 person-rem (5.25 person-Sv) 的輻射暴露劑量，少於除役一般環境影響報告書中的暴露限制輻射劑量的 50%。該計畫已完成超過二百萬小時安全工作時數而無事故損失時間。總體而言，該計畫已完成約 540 萬小時，事故率大約每 20 小時工時 2.3 次。

### 3.10 附件

附件 A：除役的主題列表

附件 B：Oyster Creek 除役技術規劃組織

附件 C：除役計畫規劃

附件 D：除役時程

附件 E：除役計畫規劃

附件 F：除役時程

## 附件 A.除役的主題列表

下面列出了除役的主題，在 EPRI 在 2004 年 9 月在 Connecticut Yankee 舉行的除役研討會期間，以重要性來評估及排序。

### 最重要的項目

- 管制的交流及挑戰
- 計畫的方法（DOC，自我執行、等）和選擇的依據
- 關鍵決策點的投入(關閉決定、燃料貯存方法)
- 利益相關者交流及挑戰
- 整體計畫成功地推進
- 技術挑戰

### 次重要的項目

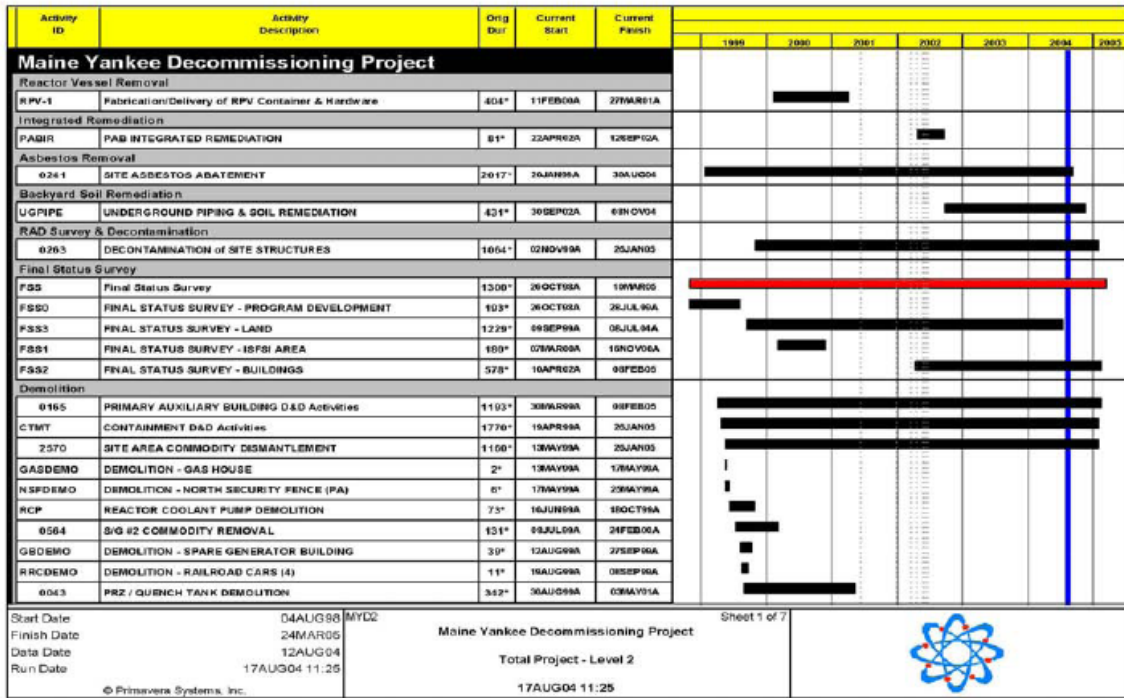
- 承包項目的部分（S）和工作任務的基礎上
- 詳細的計畫成本估算財務管理
- 廢棄物產生的關鍵任務（數量及活度等級）

### 第三重要的項目

- 詳細的計畫規劃時間表
- 計畫的延誤和基礎的討論
- 主要承包的借鏡
- 工作人員電離輻射的關鍵任務
- 關鍵的行政挑戰

## 附件 B. 計畫時程綜整

此章節中的圖表表示從 1999 年至 2005 年，在 2004 年 8 月制定的計畫高層級的時程表。



| Activity ID | Activity Description                             | Orig Dur | Current Start | Current Finish | Year |      |      |      |      |      |      |  |
|-------------|--|----------|---------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|             |  |          |               |                | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |  |
| C37FDEMO    | DEMOLITION - COND STORAGE TANK FOUNDATION        | 3*       | 30AUG99A      | 01SEP99A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| FOBDEMO     | DEMOLITION - FUEL OIL BUNKER                     | 23*      | 08SEP99A      | 08OCT99A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 0274        | DEMOLITION - SITE SUPPORT BUILDINGS              | 1691*    | 15SEP99A      | 25JAN03        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| GTDEMO      | DEMOLITION - GUARD TOWERS (3)                    | 12*      | 20SEP99A      | 07OCT99A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| TB-COM      | COMMODITIES - TURBINE BUILDING                   | 557*     | 20SEP99A      | 16JUN02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| ILRTDEMO    | DEMOLITION - RCA WEST (ILRT)                     | 0*       | 03OCT99A      | 13OCT99A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| X74DEMO     | DEMOLITION - STATION TRANSFORMERS X-24/26/28     | 21*      | 06OCT99A      | 10NOV99A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| DWSTDEMO    | DEMOLITION - DEMIN WATER STORAGE TANK (DWST)     | 10*      | 27OCT99A      | 11NOV99A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| L2RCSPC     | LOOP 2 RCS PIPE CUTS                             | 36*      | 09NOV99A      | 11JAN00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| TTDEMO      | DEMOLITION - TEST TANKS                          | 12*      | 22NOV99A      | 13DEC99A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| WHGDEMO     | DEMOLITION - WAREHOUSE #5                        | 3*       | 01DEC99A      | 06DEC99A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CB33COM     | COMMODITIES - CTMT ELEC PENETRATION ROOMS        | 0*       | 16JAN00A      | 26JAN00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| RWSTDEMO    | DEMOLITION - REFUELING WATER STORAGE TANK (RWST) | 65*      | 09FEB00A      | 13APR00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CW-COM      | COMMODITIES - CIRC WATER PUMPHOUSE               | 33*      | 27APR00A      | 26JUN00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CY0006      | CIRC WATER PUMP HOUSE D&D Activities             | 333*     | 27APR00A      | 24DEC01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| SCAT0       | DEMOLITION - SPRAY CHEM ADDITION TANK (SCAT)     | 29*      | 04MAY00A      | 26JUN00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| TG0102      | DEMOLITION - MAIN TURBINE/GENERATOR              | 181*     | 28AUG00A      | 16JUL01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| TURBDEM     | Demo Main Turbine & Generator                    | 181*     | 28AUG00A      | 16JUL01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CONDDEMO    | DEMOLITION - MAIN CONDENSER                      | 43*      | 20SEP00A      | 09DEC00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| EFWCOM      | COMMODITIES - EFW PUMPROOM                       | 12*      | 19JUN01A      | 30JAN01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| SBCOM       | COMMODITIES - SERVICE BUILDING                   | 56*      | 12FEB01A      | 17MAY01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| TB-STR      | DEMOLITION - TURBINE BUILDING (Phase I)          | 213*     | 04APR01A      | 23APR02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| TB0006      | DEMOLITION-TURBINE BUILDING (PH I & II)          | 542*     | 04APR01A      | 06DEC02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| TBSS        | DEMOLITION - TURBINE BUILDING SOUTH SIDE         | 51*      | 04APR01A      | 03JUL01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| WHGDEMO     | DEMOLITION - WAREHOUSE #6 FOUNDATION             | 4*       | 25APR01A      | 09MAY01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| X15DEMO     | DEMOLITION - TRANSFORMER X-15 / X-16             | 20*      | 29MAY01A      | 02JUL01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| SPCOM       | COMMODITIES - SPRAY BUILDING                     | 7*       | 11JUN01A      | 20JUN01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| MET         | DEMOLITION - MET TOWER & BUILDING                | 3*       | 10JUL01A      | 12JUL01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 345KV       | DEMOLITION - 345KV ELECTRICAL TOWERS             | 12*      | 24JUL01A      | 15AUG01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CSDDEMO     | DEMOLITION - COLLECTION SITE                     | 4*       | 06AUG01A      | 09AUG01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| SBD1        | DEMOLITION - SERVICE BLDG (PHASE 1)              | 141*     | 15AUG01A      | 25APR02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |

| Activity ID | Activity Description                        | Orig Dur | Current Start | Current Finish | Year |      |      |      |      |      |      |  |
|-------------|---|----------|---------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|             |   |          |               |                | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |  |
| WWPHDEMO    | DEMOLITION - WELL WATER PUMPHOUSE           | 2*       | 15AUG01A      | 15AUG01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CWSTR       | DEMOLITION - CIRC WATER PUMPHOUSE           | 48*      | 01OCT01A      | 24DEC01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| STP         | DEMOLITION - SEWAGE TREATMENT PLANT         | 4*       | 29OCT01A      | 01NOV01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| GAS         | DEMOLITION - GAS HOUSE FOUNDATION           | 3*       | 11APR02A      | 15APR02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 0126        | DEMOLITION - REACTOR MCC ROOM               | 70*      | 02MAY02A      | 05SEP02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| RMCC-COM    | COMMODITIES - REACTOR MCC ROOM              | 70*      | 02MAY02A      | 05SEP02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 0132        | DEMOLITION - STEAM & VALVE HOUSE            | 87*      | 08MAY02A      | 05SEP02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| PHD         | DEMOLITION - PERSONNEL HATCH BLDG           | 60*      | 21MAY02A      | 05SEP02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| BLOCK1      | DEMOLITION - VEHICLE THREAT BARRIERS        | 15*      | 03JUN02A      | 26JUN02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| INFO        | DEMOLITION - INFORMATION CENTER             | 8*       | 19JUN02A      | 02JUL02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| SBD2        | DEMOLITION - SERVICE BLDG (PHASE 2)         | 244*     | 21JUL02A      | 11OCT03A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| FP          | DEMOLITION - FIRE PUMP HOUSE & POND         | 83*      | 02AUG02A      | 20NOV02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| TTFDEMO     | DEMOLITION - TEST TANK FOUNDATIONS          | 3*       | 28OCT02A      | 30OCT02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CTMTD1      | DEMOLITION - CONTAINMENT                    | 542*     | 22NOV02A      | 10JAN05        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| TRANS       | DEMOLITION - MAIN XFMR FOUNDATIONS          | 80*      | 01JUL03A      | 04DEC03A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| SBFDEMO     | DEMOLITION - SOFTBALL FIELD                 | 4*       | 07JUL03A      | 10JUL03A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| BPS         | DEMOLITION - BAILEY POINT STORAGE AREA      | 3*       | 17JUL03A      | 25JUL03A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| SANDEMO     | DEMOLITION - SANITARY LINES                 | 1*       | 30JUL03A      | 30JUL03A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| WART        | DEMOLITION - WART BUILDING                  | 40*      | 31JUL03A      | 10OCT03A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| ADMIN       | DEMOLITION - ADMINISTRATION BUILDING        | 51*      | 06AUG03A      | 04NOV03A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| TB-STR2     | DEMOLITION - TURBINE BUILDING (Phase II)    | 56*      | 27AUG03A      | 04DEC03A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| BAILEY      | DEMOLITION - BAILEY HOUSE                   | 3*       | 16SEP03A      | 18SEP03A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| EFDEMO      | DEMOLITION - EATON FARM STRUCTURES          | 11*      | 23SEP03A      | 10OCT03A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| HV7         | DEMOLITION - HV-7 & 8 BUILDING              | 4*       | 20OCT03A      | 23OCT03A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| SPDEMO      | DEMOLITION - SPRAY BUILDING                 | 14*      | 20OCT03A      | 06NOV03A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| PHS         | DEMOLITION - PER HATCH BLDG SLAB / BACKFILL | 37*      | 10NOV03A      | 15JAN04A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 115KV       | DEMOLITION - 115KV ELECTRICAL TOWERS        | 168*     | 12NOV03A      | 08SEP04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| BWST        | DEMOLITION - BWST & BERN AREA               | 151*     | 08DEC03A      | 31AUG04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| PVS         | DEMOLITION - PRIMARY VENT STACK             | 7*       | 12JAN04A      | 21JAN04A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| FOXBIRO     | DEMOLITION - FOXBIRO ISLAND BUILDING        | 20*      | 26JAN04A      | 28FEB04A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| RACKS       | SPENT FUEL POOL STORAGE RACK REMOVAL        | 31*      | 02MAR04A      | 06APR04A       |      |      |      |      |      |      |      |  |

| Activity ID                                     | Activity Description                     | Orig Dur | Current Start | Current Finish |      |      |      |      |      |      |      |  |
|---|--|----------|---------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|   |  |          |               |                | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |  |
| PAGODA  | DEMOLITION - SFPI GENERATOR & PAGODA     | 3*       | 22MAR04A      | 24MAR04A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| RMCCBF  | DEMOLITION - RMCC SUBGRADE & BACKFILL    | 140*     | 26MAR04A      | 14DEC04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| PAB-DEMO  | DEMOLITION - PRI AUXILIARY BUILDING      | 67*      | 26MAR04A      | 25JUL04A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| EFWDEMO   | DEMOLITION - EFW PUMPROOM                | 63*      | 61APR04A      | 21JUL04A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| LSA   | DEMOLITION - LSA STORAGE BUILDING        | 94*      | 65APR04A      | 16SEP04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| DWSTF   | DEMOLITION - DWST FOUNDATION             | 8*       | 15APR04A      | 23APR04A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CR3HAM  | DEMOLITION - FUEL BUILDING CRANE CR-3    | 30*      | 65MAY04A      | 25JUN04A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| RPDEMO  | DEMOLITION - SITE ROADS & PARKING LOTS   | 117*     | 29MAY04A      | 20DEC04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| FENCE   | DEMOLITION - SECURITY FENCE              | 71*      | 26JUN04A      | 20CT04         |      |      |      |      |      |      |      |  |
| RWSTFN  | DEMOLITION - RWST/SCAT FOUNDATION        | 1*       | 65JUL04A      | 95JUL04A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| RCA   | DEMOLITION - RCA STORAGE BUILDING        | 41*      | 14JUL04A      | 23SEP04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| TPDEMO  | DEMOLITION - TEST PIT                    | 1*       | 23JUL04A      | 25JUL04A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| X14   | DEMOLITION - TRANSFORMER X-14/16 AREA    | 35*      | 12AUG04       | 13OCT04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 0289  | Final Site Grading                       | 116      | 23AUG04       | 63MAR05        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 0280-HAM  | FINAL SITE GRADING & LANDSCAPING         | 110*     | 23AUG04       | 63MAR05        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| PWSTDEMO  | DEMOLITION - PRI WATER STORAGE TANK      | 14*      | 23AUG04       | 19SEP04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 0259  | DEMOLITION - SFP BUILDING                | 18*      | 24AUG04       | 27SEP04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| GT1   | DEMOLITION - GUARD TOWERS FOUNDATIONS    | 1*       | 19SEP04       | 19SEP04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| TPSDEMO   | DEMOLITION - TEMP POWER SHACK            | 1*       | 16SEP04       | 16SEP04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| FHDEMO  | DEMOLITION - FIRE HYDRANT/SHOSE STATIONS | 19*      | 20SEP04       | 20OCT04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| LSDEMO  | DEMOLITION - LIFT STATION                | 8*       | 05OCT04       | 18OCT04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| WH23DEMO  | DEMOLITION - WAREHOUSE #2/3              | 12*      | 11OCT04       | 28OCT04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| SFDEMO  | DEMOLITION - STAFF BUILDING              | 22*      | 20OCT04       | 29NOV04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| PWDEMO  | DEMOLITION - POTABLE WATER CONNECTION    | 4*       | 19NOV04       | 19NOV04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| LPDEMO  | DEMOLITION - UTILITY LIGHT POLES         | 5*       | 30NOV04       | 07DEC04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| OUDEMO  | DEMOLITION - OUTSIDE UTILITIES           | 12*      | 30NOV04       | 20DEC04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| WH4DEMO   | DEMOLITION - WAREHOUSE #4 (Annex)        | 4*       | 13DEC04       | 16DEC04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| MOODEMO   | DEMOLITION - MODULAR OFFICES             | 4*       | 11JAN05       | 17JAN05        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| RRDEMO  | DEMOLITION - RAILROAD TRACKS             | 10*      | 11JAN05       | 20JAN05        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| ISFSI (Independent Spent Fuel Storage Install.) |  |          |               |                |      |      |      |      |      |      |      |  |
| ISFS52  | Licensing - Federal (HA)                 | 771*     | 01OCT98A      | 15JUL02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |

| Activity ID     | Activity Description                              | Orig Dur | Current Start | Current Finish |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-----------------|---|----------|---------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|                 |   |          |               |                | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |  |
| ISFS51          | Site Selection (HA)                               | 361*     | 12OCT98A      | 13JUL00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| ISFS65          | Cask Vendor Licensing (Storage & Transport) (HA)  | 1256*    | 16OCT98A      | 16DEC04        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 1008            | Detailed Engineering and Design (HA)              | 31*      | 01DEC98A      | 16JAN99A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 1973            | Supply fab drawings, Specs & Procedures (HA)      | 461*     | 28DEC98A      | 13OCT00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 1074            | MYPSS Review - Drawings, Specs, & Procs (HA)      | 461*     | 28DEC98A      | 13OCT00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| ISFS66          | Cask Vendor Eng/Design (HA)                       | 556*     | 28DEC98A      | 19SEP01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 1104            | Finish Inventory Fuel Pool (Std Fuel) Insp (HA)   | 62*      | 67APR99A      | 05JUL99A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 1141            | ISFSI Construction Phase I (HA)                   | 138*     | 29NOV99A      | 91AUG00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 1142            | ISFSI Construction Phase II (HA)                  | 313*     | 31MAY00A      | 29AUG01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| VCCFAB-HAM      | GTCC VCC Construction Units 1 thru 4              | 75*      | 65SEP00A      | 60DEC00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| PHIC-60         | Construct Security/Ops Bld Mods - ISFSI Phase II  | 309      | 15SEP00A      | 25JUL01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| VCCFAB-WIN      | WINTER DEMOB & LAY-UP (VCC Construction)          | 112      | 61JAN01A      | 23APR01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| GTCCLOAD        | Load & Transfer GTCC Casks to ISFSI               | 150*     | 06NOV01A      | 9APR02A        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| FUELOAD         | LOAD & TRANSFER 60 FUEL CASKS TO ISFSI            | 562*     | 12AUG02A      | 27FEB04A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| ISFSI Licensing |   |          |               |                |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CVLT-SF         | Cask Vendor Licensing Transport (Standard Fuel)   | 806*     | 61SEP99A      | 31OCT02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Licensing       |   |          |               |                |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CVLS-NS         | NAC-UMS Storage (Non-Standard Fuel)               | 586*     | 26OCT98A      | 20FEB01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CVLS-HAM        | Cask Vendor Licensing Storage (Standard Fuel)     | 525*     | 02NOV98A      | 20NOV00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 000191          | License Termination Plan Approved by NRC (HA)     | 1003*    | 22MAR99A      | 29FEB03A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CN2000          | Regulatory Approvals (HA)                         | 470*     | 30APR99A      | 99MAR01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 0700-LIC        | Dev & Implement Transitional Training Progr (HA)  | 272*     | 02FEB00A      | 06JUN01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 0033-LIC        | ISFSI Application (Rev.1) (MDEP & Wiscasset) (HA) | 21*      | 07FEB00A      | 13MAR00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CVLT-NS         | NAC-UMS Transport Amendment I (Non-Standard Fuel) | 168*     | 09FEB00A      | 04OCT00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| SEC-290         | Security 72.212 (b)(5) Exemption Request          | 55*      | 16FEB00A      | 28MAY00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| CVLS-NS2        | NAC-UMS Storage Amendment II (Non-Standard Fuel)  | 427*     | 24APR00A      | 31DEC01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| ITS-HAM         | ISFSI & Disarmament Tech Specs (HA)               | 433*     | 23MAY00A      | 09FEB02A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| ROB-HAM         | Release of Backlands (HA)                         | 1179*    | 23MAY00A      | 15JAN05        |      |      |      |      |      |      |      |  |
| PLAN-100        | FUEL IN TRANSIT E-PLAN (HA)                       | 82*      | 01JUN00A      | 25OCT00A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| SEC-180         | ISFSI SECURITY PLANNING PROCEDURE CHANGES (HA)    | 170*     | 23JUN00A      | 24APR01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |
| SEC-420         | ISFSI SECURITY PROCEDURES (HA)                    | 170*     | 23JUN00A      | 24APR01A       |      |      |      |      |      |      |      |  |

| Activity ID                               | Activity Description                              | Orig Dur | Current Start | Current Finish | Timeline |      |      |      |      |      |      |  |
|---|---|----------|---------------|----------------|----------|------|------|------|------|------|------|--|
|   |   |          |               |                | 1999     | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |  |
| 0800-OPS                                  | ISFSI Operating Procedures (HA)                   | 93*      | 14AUG99A      | 25JAN01A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| 0600-HAM                                  | Part 72 Specific License for ISFSI (Not Pursued)  | 335*     | 23AUG99A      | 17APR02A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| PLAN-210                                  | FUEL IN TRANSIT E-PLAN PROCEDURES (HA)            | 47*      | 24AUG99A      | 15NOV99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| PLAN-400                                  | ISFSI EMERGENCY PLAN (STAND-ALONE)                | 514*     | 24AUG99A      | 04SEP02A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| PLAN-280                                  | FUEL IN TRANSIT E-PLAN LESSON PLANS/TRAINING (HA) | 55*      | 04DEC99A      | 12MAR01A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| SEC-250                                   | ISFSI SECURITY TRAINING (HA)                      | 71*      | 24APR99A      | 29AUG99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| ROS-HAM                                   | Release of Site Lands: Remaining Non-ISFSI Land   | 234*     | 03NOV99A      | 61OCT04A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| 0489-LIC                                  | Plan Special Circumstance Discharges (HA)         | 4987*    |               | 14MAR02A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| <b>Environmental Permitting</b>           |   |          |               |                |          |      |      |      |      |      |      |  |
| 0300-HAM                                  | RCRA Closure Plan (External) (HA)                 | 315*     | 19FEB00A      | 31AUG01A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| 0100-HAM                                  | Building Demolition Assessment (HA)               | 164*     | 23FEB00A      | 14DEC00A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| 0700-CPR                                  | PCB Concrete Paint Removal Plan (HA)              | 96*      | 28APR00A      | 03OCT00A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| 0700-HAM                                  | Concrete Characterization of CRS/Scarborough (HA) | 48*      | 26JUN00A      | 14SEP00A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| CD-HAM                                    | Concrete Disposition (HA)                         | 41*      | 20JUL00A      | 02OCT00A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| 0900-HAM                                  | ISFSI Concrete Characterization (HA)              | 23*      | 23AUG00A      | 03OCT00A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| 0000-MRPA                                 | MRPA & Corps of Engineers Permit (HA)             | 76*      | 07MAY01A      | 15JUL01A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| FPHEP                                     | FIRE PUMP HOUSE ENVIRONMENTAL PERMITTING          | 24*      | 04FEB02A      | 14MAR02A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| LIC-HAM                                   | Termination of Licenses & Permits                 | 161*     | 22APR04A      | 02FEB05        |          |      |      |      |      |      |      |  |
| <b>Forebay Remediation</b>                |   |          |               |                |          |      |      |      |      |      |      |  |
| FOR-EBAY                                  | DEMOLITION - FOREBAY & SEAL PIT                   | 449*     | 19MAY02A      | 30JUL04A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| FBAY-REM                                  | FOREBAY & SEAL PIT REMEDIATION                    | 113*     | 28APR03A      | 12NOV03A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| <b>Waste Disposal</b>                     |   |          |               |                |          |      |      |      |      |      |      |  |
| HP-2                                      | HP Support Routine Duties Outside of CTMT         | 1461*    | 02JAN01A      | 26JAN05        |          |      |      |      |      |      |      |  |
| <b>Neutron Shield Tank Demolition (2)</b> |   |          |               |                |          |      |      |      |      |      |      |  |
| NST                                       | NEUTRON SHIELD TANK DEMOLITION (CP)               | 43*      | 06NOV03A      | 01DEC03A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| <b>Decommissioning Readiness</b>          |   |          |               |                |          |      |      |      |      |      |      |  |
| 0758                                      | Plant Prep & Temp Services (HA)                   | 130*     | 01DEC99A      | 15JUL99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| <b>7574</b>                               |   |          |               |                |          |      |      |      |      |      |      |  |
| ISF559                                    | Architectural Engineering and Design              | 154*     | 15DEC99A      | 13SEP99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| ISF560                                    | Radiological Analysis                             | 88*      | 26JAN99A      | 23JUN99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| ISF582                                    | Engineering & Design - Plant Upgrades             | 290*     | 01FEB99A      | 30JUN99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| ISF556                                    | Electrical/Controls & Security Eng. & Design      | 124*     | 19FEB99A      | 22SEP99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |

| Activity ID                        | Activity Description                           | Orig Dur | Current Start | Current Finish | Timeline |      |      |      |      |      |      |  |
|------------------------------------|--|----------|---------------|----------------|----------|------|------|------|------|------|------|--|
|                                    |  |          |               |                | 1999     | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |  |
| ISF554                             | Geotechnical Engineering and Design            | 112*     | 19FEB99A      | 02SEP99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| ISF557                             | Mechanical Engineering and Design              | 115*     | 19FEB99A      | 05SEP99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| ISF564                             | Local Permitting                               | 282*     | 22FEB99A      | 15JUL00A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| ISF558                             | Structural Engineering and Design              | 173*     | 01MAR99A      | 30DEC99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| ISF553                             | QA Plan and Design Criteria                    | 3393*    |               | 29MAR99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| <b>9501</b>                        |  |          |               |                |          |      |      |      |      |      |      |  |
| DD6183                             | Transition Security                            | 1*       | 04JAN99A      | 04JAN99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| <b>RPV Internal Segmentation</b>   |  |          |               |                |          |      |      |      |      |      |      |  |
| SEG-1                              | Fractonics Equipment Assembly and Testing      | 35*      | 06AUG99A      | 13SEP99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| VESSEL                             | Rx Vessel Internals Segmentation               | 179*     | 09OCT00A      | 09MAY01A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| SEG-4                              | Thermal Shield / CSB Segmentation              | 84*      | 29DEC00A      | 23MAR01A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| SEG-10                             | GTCC Segmentation                              | 9*       | 01MAY01A      | 09MAY01A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| SEG-13                             | Final Cavity Clean and Drain                   | 332*     | 13MAY01A      | 15APR02A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| SEG-11                             | Load GTCC and Transfer to ISFSI                | 147*     | 06NOV01A      | 04APR02A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| SEG-12                             | Takedown and Final Packout of Cavity Equipment | 7055*    |               | 09MAY02A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| <b>Large Component Removal</b>     |  |          |               |                |          |      |      |      |      |      |      |  |
| 0791                               | Steam Generators (HA)                          | 233*     | 19MAY99A      | 26JUN99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| 0789                               | Reactor Coolant Pumps & Motors                 | 89*      | 10JUN99A      | 15NOV99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| 0790                               | Pressurizer (HA)                               | 160*     | 30AUG99A      | 12JUN99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| <b>Reactor Vessel Head Removal</b> |  |          |               |                |          |      |      |      |      |      |      |  |
| HEAD-PH1                           | RPV Head Removal to Outside Laydown Area       | 98*      | 26JUL00A      | 01NOV99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| HEAD-PH2A                          | RPV Head Cut / Rig / Transport to Envirocore   | 83*      | 14JUN01A      | 16AUG01A       |          |      |      |      |      |      |      |  |
| <b>Source Term Reduction</b>       |  |          |               |                |          |      |      |      |      |      |      |  |
| PAB5                               | PAB SOURCE TERM REDUCTION                      | 33*      | 30MAR99A      | 29MAY99A       |          |      |      |      |      |      |      |  |

圖 B-1 Maine Yankee 1999-2005 綜整除役時程表

### 附件 C.計畫時間表

本附錄在 Maine Yankee 除役計畫期間，提供事件的詳細的時程表，包括整個計畫 2004 年 8 月的高層級摘要計畫。

表 C-1 Maine Yankee 計畫時間表

| Date               | Event   |
|--------------------|---|
| October 21, 1968   | Construction permit issued  |
| September 12, 1972 | Provisional operating license issued  |
| December 28, 1972  | Commercial Operations begin   |
| June 29, 1973      | Full power operating license received   |
| December 6, 1996   | Last commercial operations. Maine Yankee shut down the plant as a result of design basis implementation concerns associated with cable separation and control logic issues.   |
| December 18, 1996  | The NRC issued a confirmatory action letter requiring need for mid-cycle inspections to check for potential further deterioration, and the overall condition of the steam generators. Engineering staff indicated that while the generators should last 3 more fuel cycles, there could be no assurance that they would not need to be replaced after that. |
| January 29, 1997   | NRC placed Maine Yankee on the NRC watchlist.   |
| January 30, 1997   | The NRC issued a supplemental confirmatory action letter requiring resolution of additional concerns ("extent of condition") before startup. Maine Yankee to remain shutdown until resolution of those problems requiring shutdown were accepted by the NRC.  |
| February 13, 1997  | One year management contract with Entergy signed.   |
| March 7, 1997      | Submittal of Restart Plan to the NRC  |
| May 1997           | Maine Yankee Board of Directors decide that plant will either be sold or enter decommissioning  |



|                    |   |
|--------------------|---|
| July 30, 1997      | Maine Yankee Board of Directors complete economic analysis for shutdown                                       |
| August 6, 1997     | Decision to terminate commercial operations   |
| August 7, 1997     | NRC notified of permanent cessation of operations and permanent defueled status                               |
| August 21, 1997    | First meeting of CAP  |
| August 27, 1997    | Post Shutdown Decommissioning Activities Report issued  |
| October 30, 1997   | Maine Yankee and Wiscasset finalize agreement on property tax for 1998  |
| October 1997       | Initial Characterization Surveys (ICS) begins   |
| November 5, 1997   | Maine Yankee files rate case with FERC to increase decommissioning collections                                |
| November 6, 1997   | PSDAR public meeting  |
| November 6, 1997   | Maine Yankee continues management contract with Entergy to provide management services during decommissioning |
| December 10, 1997  | Maine Yankee conducts press briefing onsite for reporters and photographers                                   |
| January 28, 1998   | Maine Yankee submits QA program changes to NRC  |
| February 5, 1998   | Maine Yankee submits defueled safety analysis report (DSAR) to NRC  |
| March 1998         | RCS decontamination occurs. Asbestos remediation begins   |
| April 17, 1998     | DOC RFP issued by Maine Yankee  |
| April 29, 1998     | Initial Characterization Surveys completed and report finalized   |
| April 1998         | Public opinion poll taken for spent fuel storage options  |
| May 29, 1998       | DOC bids are due to Maine Yankee  |
| May 1998           | SFPI begins operation   |
| June 2, 1998       | Maine Yankee files suit against DOE in court of claims for failure to accept and remove spent fuel            |
| June 24, 1998      | Initial CAP meeting regarding SFPI fan noise  |
| August 4, 1998     | SWEC chosen as DOC  |
| September 23, 1998 | CAP all day planning meeting  |

|                    |   |
|--------------------|---|
| September 30, 1998 | SFPI fan modifications completed  |
| October 15, 1998   | Transition to new control room completed  |
| October 30, 1998   | All mechanical systems abandoned  |
| December 30, 1998  | Plant achieves "cold and dark" status   |
| December 1998      | Asbestos abatement project complete   |
| January 19, 1999   | FERC case settlement  |
| March 22, 1999     | Source term reduction begins  |
| March 1999         | Maine Yankee meets with Wiscasset Planning Board regarding ISFSI construction   |
| April 5, 1999      | Fuel inspection begins  |
| May 27, 1999       | Source term reduction program complete  |
| May 1999           | Maine Yankee submits permit application to Maine BEP for ISFSI construction   |
| June 7, 1999       | Emergency diesel generators purchased by a midwest utility  |
| June 1999          | First Reactor Coolant Pump removed  |
| July 3, 1999       | Fuel inspection completed   |
| July 14, 1999      | Maine Yankee and Wiscasset reach agreement on property taxes for 1999 and 2000  |
| September 17, 1999 | Maine Yankee proposes rubbleization approach to remediation to CAP  |
| September 1999     | Maine Yankee files suit against Maine DEP on radiological jurisdiction for ISFSI  |
| October 21, 1999   | CAP meeting with NRC and EPA to address LTP and site release criteria   |
| October 1999       | All three reactor coolant pumps shipped by rail to Barnwell low level waste site. Reactor coolant pump motors shipped to Envirocare of Utah. Site main power transformers shipped offsite by barge to Midwest utility |
| December 1, 1999   | Maine Yankee received three proposals for use of Eaton Farm   |
| December 1999      | Final status surveys begin on property south of Ferry Road  |
| January 13, 2000   | Revision 0 to License Termination Plan submitted to NRC – includes agreement to meet 10 mrem/y all pathways and 4 mrem/y groundwater release criteria   |

|                 |   |
|-----------------|---|
| March 2000      | SWEC decommissioning vice president and construction manager leave Maine Yankee to move to other projects. State of Maine legislation introduced that would require state oversight of radiological issues and specify a 0.05 mrem/y residual contamination limit |
| April 6, 2000   | Pressurizer removed   |
| April 26, 2000  | State of Maine Law LD 2688-SP1084 signed into law mandating an unrestricted release criteria of 10 mrem/yr for all pathways and 4 mrem/yr for the groundwater pathway   |
| May 4, 2000     | SWEC contract terminated and Federal Judge rules that Maine BEP does not have radiological jurisdiction for ISFSI   |
| May 15, 2000    | NRC LTP public meeting  |
| June 2000       | State of Maine and FOTC petition the NRC to intervene in LTP amendment request  |
| July 2000       | Maine Yankee receives construction permits for ISFSI  |
| September 2000  | ISFSI construction begins   |
| November 2000   | Reactor pressure vessel internals segmentation begins   |
| January 2001    | Maine Yankee to self perform decommissioning  |
| February 2001   | RCRA Closure Plan submitted to State of Maine   |
| July 2001       | Revision 1 to LTP submitted – no longer included rubbleization – fuel transfer to ISFSI scheduled from 9/01 to 11/02  |
| August 2001     | Revision 2 of the LTP submitted to the NRC  |
| August 30, 2001 | Agreement reached in ASLB settlement proceedings  |
| January 2002    | Transfer of GTCC from SFPI to ISFSI begins  |
| April 2002      | RPV to be removed summer 02 – sent to Barnwell. SF transfer to ISFSI scheduled from 5/02 – mid 2003. All GTCC waste in DCS at ISFSI.  |
| July 2002       | North Ferry Road parcel released from NRC license   |
| August 24, 2002 | Spent fuel begins transfer from SFPI to ISFSI   |
| August 2002     | RPV removed from containment - stored onsite until 2003 for shipment to Barnwell. Delay for shipment due to low water levels in the Savannah River precluding barge traffic to Barnwell site.   |

|                    |   |
|--------------------|---|
| October 15, 2002   | License Termination Plan, Revision 3 submitted                                      |
| January 2003       | NAC contract terminated and MY to self perform fuel movement/transfer to ISFSI      |
| April 22, 2003     | NAC and MY reach new contract agreement for NAC to continue to provide DCS hardware |
| April 2003         | Test blast occurs to validate explosive demolition models and calculations          |
| May 6, 2003        | MY RPV leaves site for Barnwell   |
| November 2003      | Maine Yankee received approval on records disposition exemption request             |
| February 27, 2004  | All spent fuel now on ISFSI pad   |
| August 5, 2004     | North Ferry Road parcel sold to Wiscasset for redevelopment                         |
| September 17, 2004 | Explosive demolition of containment shell   |

### 附件 D.計畫輻射暴露

Maine Yankee PSDAR 在 1997 年 8 月發布，該計畫預計輻射暴露為 946 人 REM (9.46 人-SV)。於 2002 年 10 月發布第三次修訂許可終止計畫預計暴露約 937.5 人 REM (9.375 人 SV)。詳細的除役任務期間收到的實際暴露的資訊在此文件中尚未取得，但是從許可終止計畫的以下資訊提供了評估除役工作的暴露。

表 D-1 Maine Yankee 規劃計畫輻射暴露

| Area/Activity  | Title | Exposure   |
|--|-------|------------|
| <b>DC.2 PERIOD 2<br/>(DECOMMISSIONING)</b><br><b>DC.2.01 NSSS REMOVAL</b><br>DC.2.01.01 Reactor coolant piping<br>DC.2.01.02 Pressurizer relief tank<br>DC.2.01.03 Reactor coolant pumps and motors<br>DC.2.01.04 Pressurizer<br>DC.2.01.05 Steam Generators<br>DC.2.01.06 CRDMs & service structure removal<br>DC.2.01.07 Reactor vessel internals<br>DC.2.01.08 Reactor vessel |       | 93.951 REM |

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p><b>DC.2.03 SYSTEM REMOVAL</b></p> <p>DC.2.03.01 Containment</p> <p>DC.2.03.01.01 Cbl-1</p> <p>DC.2.03.01.02 Cbl-2</p> <p>DC.2.03.01.03 Cbl-3</p> <p>DC.2.03.01.04 Cbl-4</p> <p>DC.2.03.01.05 Cbl-5</p> <p>DC.2.03.01.06 Cbl-6</p> <p>DC.2.03.01.07 Cbl-7</p> <p>DC.2.03.01.08 Cbl-8</p> <p>DC.2.03.01.09 CB2-1</p> <p>DC.2.03.01.10 CB3-1</p> <p>DC.2.03.01.11 CB3-2</p> <p>DC.2.03.01.12 CB3-3</p> <p>DC.2.03.01.13 CB3-4</p> <p>DC.2.03.01.14 CCG</p> <p>DC.2.03.01.15 CEHO</p> <p>DC.2.03.01.16 CICI L</p> <p>DC.2.03.01.17 CPHO</p> <p>DC.2.03.01.18 CPLE</p>   | <p>CTMT Loop #1</p> <p>CTMT Loop #2</p> <p>CTMT Loop #3</p> <p>SI Tank #2 &amp; Regen Ht Exch E-67</p> <p>CTMT -2 Lvl Pressurizer Area</p> <p>CTMT -2 Lvl Sump Pump Area</p> <p>CTMT Iodine Filter Area</p> <p>CTMT -2' Outer Annulus</p> <p>CTMT 20' Outer Annulus</p> <p>Reactor Cavity Area</p> <p>CTMT Cavity Upender Pit</p> <p>CTMT 46' Penetration Room</p> <p>CTMT Polar Crane (CR-1)</p> <p>CTMT Charging Floor</p> <p>CTMT Equip Hatch Outer (PE-3)</p> <p>CTMT Incore Instrument Sump</p> <p>CTMT Personal Hatch Outer Area</p> <p>CTMT Elevator &amp; Room</p>  | <p>97.114 REM</p> <p>65.745 REM</p> <p>63.171 REM</p> <p>11.592 REM</p> <p>25.411 REM</p> <p>22.608 REM</p> <p>6.485 REM</p> <p>43.334 REM</p> <p>19.313 REM</p> <p>19.615 REM</p> <p>26.683 REM</p> <p>6.078 REM</p> <p>4.042 REM</p> <p>3.105 REM</p> <p>3.871 REM</p> <p>6.533 REM</p> <p>.728 REM</p> <p>.173 REM</p>   |
| <p><b>DC.2.03.02 PRIMARY AUXILIARY BUILDING</b></p> <p>DC.2.03.02.01 P21A</p> <p>DC.2.03.02.02 P21B</p> <p>DC.2.03.02.03 P21C</p> <p>DC.2.03.02.04 P21D</p> <p>DC.2.03.02.05 P21E</p> <p>DC.2.03.02.06 P21H</p> <p>DC.2.03.02.07 P21L</p> <p>DC.2.03.02.08 P21S</p> <p>DC.2.03.02.09 P21V</p> <p>DC.2.03.02.10 PLAD</p> <p>DC.2.03.02.11 PLBA</p> <p>DC.2.03.02.12 PLCP</p> <p>DC.2.03.02.13 PLDC</p> <p>DC.2.03.02.14 PLEC</p> <p>DC.2.03.02.15 PLLA</p> <p>DC.2.03.02.16 PLPA</p> <p>DC.2.03.02.17 PLPD</p> <p>DC.2.03.02.18 PLPT</p> <p>DC.2.03.02.19 PLPW</p> <p>DC.2.03.02.20 PU48</p> <p>DC.2.03.02.21 PUDD</p> <p>DC.2.03.02.22 PUEC</p> <p>DC.2.03.02.23 PUFN</p> <p>DC.2.03.02.24 PUHV</p> <p>DC.2.03.02.25 PUL</p> <p>DC.2.03.02.26 PUSA</p> <p>DC.2.03.02.27 PUTC</p> <p>DC.2.03.02.28 PUWG</p> | <p>PAB 21' Level Valve Alley</p> <p>PAB 21' Boric Acid Pump Area</p> <p>PAB 21' Charging Pump Cubicle</p> <p>PAB 21' Level Degas Cubicle</p> <p>PAB 21' Evap Cubicle</p> <p>PAB 21' Heat Exchanger Room</p> <p>PAB 21' General Area</p> <p>PAB 21' Sample Sink Area</p> <p>PAB 21' Level HPSI Room</p> <p>PAB Lower Lvl Aerated Drain Tank Area</p> <p>PAB Lower Lvl Boric Acid Mix Tank Area PAB</p> <p>Lower Lvl Aux Chrg Pump Cubicle PAB Lower Lvl Degas Cubicle</p> <p>PAB Lower Lvl Evap Cubicle</p> <p>PAB Lower Lvl Letdown Area</p> <p>PAB Lower Lvl Ctmt Penetration Area</p> <p>PAB Lower Lvl Primary Drain Tank Area PAB</p> <p>Lower Lvl Pipe Tunnel</p> <p>PAB Lower Lvl Primary Water Pump Area PAB</p> <p>Upper Lvl FN-48 Area</p> <p>PAB Upper Lvl Decay Drum Cubicle</p> <p>PAB Upper Lvl Evap Cubicle</p> <p>PAB Upper Lvl FN-1A/B Area</p> <p>PAB Upper Lvl Heat &amp; Ventilation</p> <p>PAB Upper Lvl General</p> <p>PAB Upper Lvl Radioactive Storage Area PAB</p> <p>Upper Lvl VCT Cubicle</p> <p>PAB Upper Lvl Waste Gas Cubicle</p> | <p>.742 REM</p> <p>6.387 REM</p> <p>22.718 REM</p> <p>9.160 REM</p> <p>39.169 REM</p> <p>16.495 REM</p> <p>1.418 REM</p> <p>2.799 REM</p> <p>.956 REM</p> <p>22.184 REM</p> <p>13.790 REM</p> <p>5.054 REM</p> <p>1.551 REM</p> <p>13.751 REM</p> <p>38.761 REM</p> <p>28.907 REM</p> <p>11.122 REM</p> <p>30.815 REM</p> <p>.289 REM</p> <p>.485 REM</p> <p>.512 REM</p> <p>5.921 REM</p> <p>.506 REM</p> <p>.383 REM</p> <p>1.741 REM</p> <p>.316 REM</p> <p>.529 REM</p> <p>.279 REM</p> |

|   |   |            |
|---|---|------------|
| <b>DC.2.03.04 SERVICE/FUEL BUILDING</b> |   |            |
| DC.2.03.04.01 DWST                      | Demineralizer Water Storage Tank (TK-21)  | .103 REM   |
| DC.2.03.04.02 EFPR                      | Emergency Feed Water Pump Room            | .159 REM   |
| DC.2.03.04.04 LSAB                      | LSA Storage Building                      | .628 REM   |
| DC.2.03.04.05 NFLA                      | New Fuel Laydown Area / Fuel Vault        | 1.622 REM  |
| DC.2.03.04.07 RCAW                      | RCA Waste Solidification                  | 8.772 REM  |
| DC.2.03.04.08 RMCC                      | Reactor MCC Room                          | .046 REM   |
| DC.2.03.04.09 SBDR                      | Service Building Decon Room               | .314 REM   |
| DC.2.03.04.10 SBHP                      | Service Building HP Checkpoint            | .044 REM   |
| DC.2.03.04.11 SBMS                      | Service Building Machine Shop             | .293 REM   |
| DC.2.03.04.13 SBSR                      | Service Building Seal Room                | .111 REM   |
| DC.2.03.04.16 SFP                       | Spent Fuel Pool                           | 32.159 REM |
| DC.2.03.04.17 SFPH                      | Spent Fuel Pool Heat Exchanger Room Spent | 9.120 REM  |
| DC.2.03.04.18 SFPV                      | Fuel Pool Ventilation Room                | .287 REM   |
| DC.2.03.04.19 SPRB                      | Spray Building                            | 78.093 REM |
| DC.2.03.04.20 SVH                       | Steam & Valve House                       | .054 REM   |
| <b>DC.2.03.05 Miscellaneous</b>         |   |            |
| DC.2.03.05.01 BWST                      | Boron Waste Storage Tanks (TK-13 A&B)     | .162 REM   |
| DC.2.03.05.02 CST                       | Condensate Surge Tank (TK-122)            | .003 REM   |
| DC.2.03.05.08 HRB                       | High Radiation Bunker                     | .528 REM   |
| DC.2.03.05.09 PWST                      | Primary Water Storage Tank (TK-16)        | .068 REM   |
| DC.2.03.05.10 RWST/SCAT                 | RWST/SLAT Tanks                           | 1.549 REM  |
| DC.2.03.05.13 West - RCA                | RCA Yard Area - West Side                 | 7.136 REM  |

## 附件 E. 計畫廢棄物

下面的資料代表從計畫開始（1998 年開始運送）直到 2005 年 1 月，計畫廢棄物（放射性和非放射性）的總結。表 E-1 總結對放射性和非放射性廢物，每年運送至廠址外，廢棄物分類並提供運送廢棄物的卡車和鐵路之數量。

圖 E-1 和 F-2 如下圖形顯示 1998 年至 2005 年 1 月，每月的放射性和非放射性廢物的重量。

表 E-1 Maine Yankee 1998-2005 廢棄物運送的總結

| SUMMARY TABLE - TOTAL WASTE SHIPPED OFFSITE<br>(all weights are in pounds)  |                |                  |                   |                   |                   |                   |                    |                   |                    |                    |
|---|----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Category  | 1998*          | 1999             | 2000              | 2001              | Totals            |                   |                    |                   | To-Date            | Projected          |
| <b>Non-Radioactive</b>  |                |                  |                   |                   |                   |                   |                    |                   |                    |                    |
| Asbestos  | 199,004        | 0                | 15,740            | 235,100           | 200               | 0                 | 0                  | 0                 | 450,044            | 546,000            |
| Other   |                | 1,765            | 8,405             | 15,293            | 5,445             | 0                 | 0                  | 0                 | 30,908             | 36,293             |
| Hazardous Waste   |                | 4,848            | 14,079            | 140,618           | 10,626            | 965               | 3,500              | 0                 | 174,636            | 249,512            |
| Oil   |                | 7,830            | 3,927             | 19,014            | 5,300             | 8,664             | 0                  | 0                 | 44,735             | 50,307             |
| Paper/ Cardboard  |                | 32,294           | 34,246            | 35,605            | 32,200            | 24,500            | 20,000             | 0                 | 178,845            | 500,000            |
| Trash   |                | 188,250          | 290,050           | 260,000           | 212,020           | 181,000           | 83,000             | 4,000             | 1,218,320          | 1,326,867          |
| Concrete  |                | 0                | 27,300            | 19,002,660        | 35,246,440        | 16,768,340        | 15,000,000         | 3,768,000         | 89,812,740         | 104,000,000        |
| Soil  |                | 0                | 3,951,285         | 137,454           | 956,000           | 18,000            | 1,600,000          | 0                 | 6,662,739          | 12,000,000         |
| Demolition Debris   | 40,940         | 526,740          | 1,558,580         | 906,560           | 1,705,040         | 2,932,000         | 65,000             | 0                 | 7,734,860          | 10,000,000         |
| Metal   |                | 2,059,720        | 3,745,814         | 10,866,357        | 3,870,040         | 1,600,200         | 0                  | 0                 | 22,142,131         | 23,000,000         |
| <b>Total</b>  | <b>239,944</b> | <b>2,821,447</b> | <b>9,649,426</b>  | <b>31,618,661</b> | <b>42,043,311</b> | <b>21,533,669</b> | <b>16,771,500</b>  | <b>3,772,000</b>  | <b>128,449,958</b> | <b>151,708,979</b> |
| <b>Radioactive</b>  |                |                  |                   |                   |                   |                   |                    |                   |                    |                    |
| Concrete  | 0              | 0                | 1,945,790         | 1,601,610         | 14,952,424        | 34,838,550        | 82,471,195         | 4,151,900         | 139,961,469        | 145,291,000        |
| Soil  |                | 0                | 0                 | 0                 | 117,800           | 1,919,900         | 38,868,414         | 8,628,510         | 49,534,624         | 72,395,000         |
| Commodities   | 0              | 1,286,771        | 2,092,783         | 2,201,350         | 1,895,400         | 2,703,690         | 7,487,899          | 1,648,200         | 19,316,093         | 20,000,000         |
| Distributables  | 0              | 455,716          | 688,385           | 633,900           | 317,725           | 431,375           | 466,500            | 0                 | 2,993,601          | 3,000,000          |
| Large Components  | 305,560        | 568,380          | 2,342,310         | 152,540           | 231,508           | 1,900,000         | 0                  | 0                 | 5,500,298          | 5,500,298          |
| <b>Total</b>  | <b>305,560</b> | <b>2,310,867</b> | <b>7,069,268</b>  | <b>4,589,400</b>  | <b>17,514,857</b> | <b>41,793,515</b> | <b>129,294,008</b> | <b>14,428,610</b> | <b>217,306,085</b> | <b>246,186,298</b> |
| <b>Total</b>  | <b>545,504</b> | <b>5,132,314</b> | <b>16,718,694</b> | <b>36,208,061</b> | <b>59,558,168</b> | <b>63,327,184</b> | <b>146,065,508</b> | <b>18,200,610</b> | <b>345,756,043</b> | <b>397,895,277</b> |
| <b>Total without concrete</b>   |                |                  |                   |                   |                   |                   |                    |                   |                    | <b>148,604,277</b> |
| <b>Truck Shipments</b>  |                |                  |                   |                   |                   |                   |                    |                   |                    |                    |
|   | <b>1998*</b>   | <b>1999</b>      | <b>2000</b>       | <b>2001</b>       | <b>2002</b>       | <b>2003</b>       | <b>2004</b>        | <b>2005</b>       | <b>To-Date</b>     |                    |
| NonRad Truck Shipments  | 64             | 168              | 335               | 680               | 355               | 224               | 82                 | 4                 | 1,912              |                    |
| Rad Shipments   | 21             | 63               | 96                | 102               | 30                | 10                | 7                  | 1                 | 330                |                    |
| <b>Total</b>  | <b>85</b>      | <b>231</b>       | <b>431</b>        | <b>782</b>        | <b>385</b>        | <b>234</b>        | <b>89</b>          | <b>5</b>          | <b>2,242</b>       |                    |
| <b>Train Shipments</b>  |                |                  |                   |                   |                   |                   |                    |                   |                    |                    |
|   | <b>1998*</b>   | <b>1999</b>      | <b>2000</b>       | <b>2001</b>       | <b>2002</b>       | <b>2003</b>       | <b>2004</b>        | <b>To-Date</b>    |                    |                    |
| NonRad Train Shipments  | 0              | 0                | 0                 | 16                | 29                | 10                | 21                 | 3                 | 79                 |                    |
| Rad Shipments   | 0              | 0                | 5                 | 11                | 28                | 40                | 67                 | 8                 | 159                |                    |
| <b>Total</b>  | <b>0</b>       | <b>0</b>         | <b>5</b>          | <b>27</b>         | <b>57</b>         | <b>50</b>         | <b>88</b>          | <b>11</b>         | <b>238</b>         |                    |
| *1998 data only includes asbestos abatement work  |                |                  |                   |                   |                   |                   |                    |                   |                    |                    |
| Note: Large components include SGs, Pressurizer, RCP pumps & motors, RPV & internals, and 1998 asbestos removal project |                |                  |                   |                   |                   |                   |                    |                   |                    |                    |



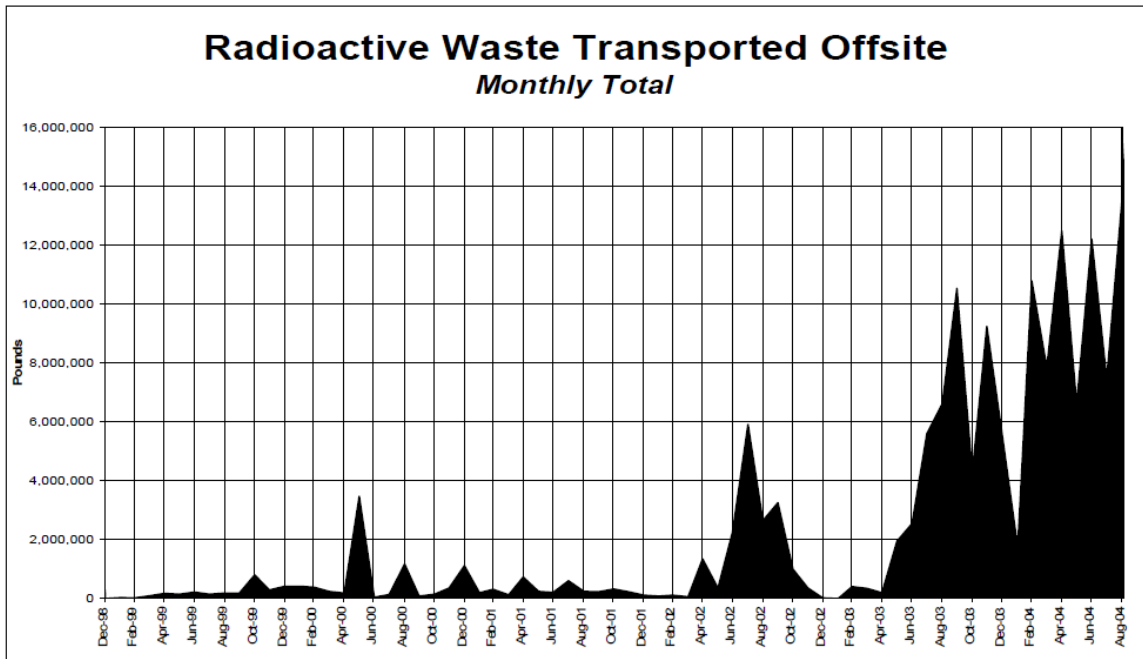


圖 E-1 Maine Yankee 放射性廢棄物運送 - 每月總重 1998 - 2004

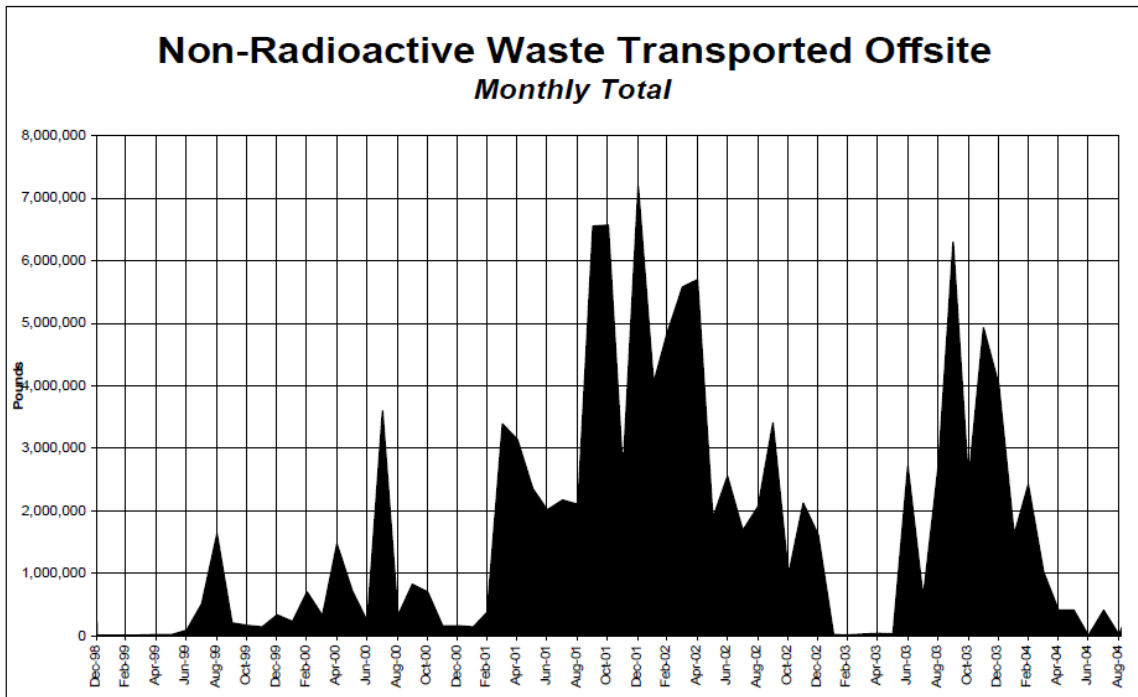


圖 E-2 Maine Yankee 非放射性廢棄物運送 - 每月總重 1998 - 2004

## 附件 F.營運中設施的額外建議

下面的建議是從當前 Maine Yankee 人員，以及從 2002 年 11 月會議上 Maine Yankee 除役副總裁的演說。他們提供營運中的電廠 Maine Yankee 看法及從除役的角度來看的建議。

### 利益相關者關係

- 投入更多的精力與設施的反對者建立關係
- 投入更多的精力參與當地社區的對話（就是組成運作的社區諮詢小組）

逐一與關鍵利益相關者培養關係

- 由過渡到除役，不要低估利益和國家主管機關，州主管機關，和關鍵立法者的關注程度
- 不要承諾或暗示，你一定會將該廠址回復至建廠前
- 考慮為營運中的電廠成立社區諮詢小組型態的團體，及早建立雙向溝通和建立關係

### 污染控制

- 運轉一個乾淨的電廠 - 防止洩漏和溢出，當它們發生時迅速清理它們，
- 積極控制污染，消除熱點
- 保持嚴格和有據可查的自由外釋控制流程
- 在管制區外執行最小量的輻射工作

### 建立一個強健的歷史評估（HSA）

- 當你運轉時建立你的歷史評估。包括放射性和非放射性洩漏和挖掘活動的良好記錄
- 包括在電廠變更時的活動和土壤處理
- 包括隨著時間推移一系列的廠址航照圖和結構、系統和組件圖  
包括在員工處理洩漏及事件問題的書面表格

### 採樣和監測進行地面水質監測計畫

- 當執行系統及材料的核種分布包括難檢測（HTD）核種的分析
- 選擇一個非常好的樣品分析實驗室和，建立一致的最低檢出活性（minimum detectable activities, MDAs）分析程序
- 使用 EPA 準則獨立測試化學品洩漏的整治
- 根據與美國核管理委員會、美國環保局和國家的封閉和土地轉移要求進行清除和驗證取樣
- 識別和熟悉與美國環保局和國家廠址關閉的要求和不動產轉讓要求。

### 建築物及設備

- 注視整個生命週期，包括當設計修改及運轉程序的拆除和處置
- 在除役規劃整合公用事業（供水、污水處理、電話、電力、計算機、停車、交通、航運、辦公用房和維修店）需求、計畫、地點和建議運動  
徹底對原來施工接縫採用於密封膠  
避免使用地下管道（或放置結構管槽）

- 保持嚴格控管溶劑和石油的使用
- 運送廢棄物至廠址外時產生的 - 避免遺留廢棄物
- 在燃料輸送管中建構圍阻體和用過核子燃料池之間的明確分離
- 用過核子燃料池吊車應單一失效保證
- 在可能的情況下消除地面排水渠導和埋設管道
- 知道地下有什麼東西

### 發展良好的除役計畫

- 缺乏前期規劃，可能增加全的除役費用 \$ 50 - \$ 100 萬
- 設施的最終狀態是越早建立越好
- 盡快過渡到除役的心態 - 不必要或繁瑣的操作流程、程序和監督可能是昂貴的。
  - 建立一個除役的計畫，包括：
    - 評估 DOC 表現執行
    - 利益相關者參與計畫
    - 強調安全性
    - 時程表重要性
    - 深思熟慮的事件排序
    - 確定商業風險，包括低放廢棄物處置
- 一個好的計畫使成本估算更有自信和甚至除役突然需要變化時能有效改變
- 發展計畫轉變工作人員從運轉到計畫管理結構
- 發展一系列許可和法規適用於除役和電廠的最終狀態
- 決定除役後留下那些東西（例如，基礎、排放管道、基礎設施等）

## 其他項目

- 避免大量生成歸類為 RCRA
- 保持強健的文件控管系統，包括有效的檢索，並迅速處置不需要的文件
- 避免取得有遺留廢棄物的土地
- 確定隨著時間廠址邊界的定義是清楚的且已知的
- 對於海洋交會的設施，定義受高低潮影響廠址邊界的位置

## 4 Connecticut Yankee 除役經驗

### 4.1 簡介

在過去的十多年中，EPRI 已經公佈一些有關於除役的經驗文件和研討會議程。對於終將除役的反應器設施，這些文件和研討會提供了一個良好的參考基礎。這些經驗報告和研討會與目前美國的核電廠不同階段的除役相結合。截至 2006 年，許多反應器設施已完成了大部分必要的除污和整治，並預計在短期內結束除役計畫。根據目前公佈或提交的執照延期申請，到 2020 年之前只有少數的幾個美國核電廠將進入除役。EPRI 進行了試驗性質的工作，在 Maine Yankee 核電廠除役的末期，從 Maine Yankee 網站收集特定的細部資料，獲取未來除役計畫所需的經驗。首先列出要收集的“基本資料”，這些基本資料將作為 Maine Yankee 工作的基礎，包含的主題如下：

- 詳細的工程計畫
- 時程表
- 工程分析
- 類似的具體除役活動。

次一層級的資料被認為是對於有效管理除役計畫是重要的，這類的資料領域稱為“軟性領域”，包括：

- 與利害關係人的互動
- 與主管機關的互動
- 計畫的決策方法（例如，是否利用除役承包商操作，濕式或乾式用過核子燃料貯存，或除役的做法）。

因此，所獲取的資料不論是艱深的計劃數據和“軟”任務都影響整體除役計劃的有效管理。Maine Yankee 原子能電力公司（MYAPCO）為了這份試驗性值的詳細經驗報告，同意作為試驗用除役廠址。Maine Yankee 報告已經完成，列於第 11 章參考文獻中[11-1]。

對於 Maine Yankee 核電廠，Connecticut Yankee 核電廠除役工作，這份報告期望做出相同的努力。為了輕易的比較兩廠的除役經驗，在後續的 CY 除役經驗報告的主題格式和排列順序與 Maine Yankee 的報告相同。CY 除役相關資料是從這份報告的主要研究者的個人檔案獲得。CY 電廠在 2006 年中進行了廠址調查，受訪者包括工程經理，和 RCRA(資源保護和恢復法)計劃經理。除了調查之外，其他的 CYAPCO 人員也提供了某些文件，以及從其他來源收集資料。

這篇報告提供了一個簡要的 CYAPCO 除役計劃，敘述於以下的主題：

- 停止運轉前的議題
- 過渡期的活動
- 除役分包商（包括除役作業承包商（DOC））
- 燃料儲存的選項
- 與主管機關和利害關係人之互動
- 工程和技術的使用
- 廠址關閉的議題
- 地下水污染的整治

Connecticut Yankee（CY）Haddam Neck Plant（HNP）屬於新英格蘭電力公用事業的財團擁有，消費者分佈在 Maine, New Hampshire, Vermont, Massachusetts, Connecticut and Rhode Island。Connecticut Yankee 核電廠是一個單一反應器的設施，電廠坐落在 Haddam 鎮佔地 525 英畝的土地上，並

安置了額定功率 1825 MWt 和 619 MWe 的壓水式反應器。反應器安置了 4 迴路閉路循環壓水式核蒸汽供應系統 ( Nuclear Steam Supply System, NSSS ); 渦輪發電機和電力系統, 專門的安全設施, 放射性廢棄物系統, 燃料處理系統, 儀表和控制系统; 必要的輔助設備; 廠房系統結構和其他現場設施。反應器是由西屋電氣設計, Combustion Engineering 建造, 剩餘部分由 Stone & Webster 建造。HNP 位於 Connecticut 河東岸, Hartford 偏南約 21 公里。CY HNP 於 1967 年 7 月 24 日達到初步臨界, 1968 年 1 月 1 日起商業運轉, 約運轉 28 年後在 1996 年 12 月 4 日永久停止運轉。 1996 年 12 月 5 日 CYAPCO 通知核監督管理委員會 (NRC) HNP 永久停止運轉和從反應器壓力容器中永久移除所有燃料並將其放置在用過核子燃料池中。停止運轉之後, CYAPCO 開始 HNP 除役。按照法規 10CFR50.82 (a) (4) 規定在 1997 年 8 月 22 日提交停機後除役作業報告 (PSDAR) (其後修訂於 2002 年 10 月 22 日), 1998 年 1 月 26 日, NRC 接受 PSDAR, 後來 CYAPCO 又提交了一份更新的最終安全分析報告, 以反映核電廠的永久停止運轉狀態, NRC 於 1998 年 6 月 30 日修訂 HNP 設施的營運執照以反映電廠永久停止運轉狀態。1999 年 10 月 19 日修訂營運執照以反映用過核子燃料長期儲存在用過核子燃料池及電廠的除役狀態。額外的執照基本文件也進行修訂及遞交以反映在用過核子燃料池內的長期燃料儲存 ( 移除燃料緊急計劃、安全計劃、品質保證計劃、及操作人員培訓計劃 )。





圖 4-1 Connecticut Yankee 核電廠運轉期間的廠址

## 4.2 停止運轉前的議題

### 借鏡/建議

- 核電廠除役的許多活動策劃，要在實際永久停止運轉之前進行。在考慮核電廠除役的可能性時，必須開始規劃除役的高階策略。
- 維護一個完整的 10CFR50.75 (g) 文件（污染事件的歷史清單），有利於早期除役的工作。這種在污染事件發生後直接記錄的方式，提供許多可用的資料。
- 一旦預計永久停止運轉(約在永久停止運轉前一年) 應確實開始進行計劃的細部規劃、工程和前期計劃規範。

CYAPCO HNP 於 1968 年 1 月 1 日投入商業運轉。該電廠成功運轉近 28 年。在此期間，電廠達到了約 70% 的總容量因子並兩次獲得最長連續運轉的世界紀錄。由於核電的成本競爭力的因素，特別是對這類舊型的核電廠而言，CY HNP 的永久停止運轉不是計畫性的。1996 年夏天在一次正常的更換燃料大修時停止運轉後，CY 董事會判斷若繼續再運轉是不符合成本的。因此在 1996 年 12 月 4 日董事會宣布 HNP 電廠永久停止運轉。

支援未來的除役工作，CY HNP 已經做的工作如下：

- 在電廠的運轉期間已準備好除役成本預算的編列並定期更新。這成本估計是假設核電廠立刻除役，即核電廠除役採用 DECON 選項。
- 遵照符合美國 NRC 10CFR50.75 (g) 列舉對於電廠事件的要求，例如對洩漏和污染事件進行了維護。

做出核電廠非計畫性的永久停止運轉的決定，造成除役工作的準備時間不足，這樣的例子如下：

- 除役成本估計若利用標準廠房設計規範的單位成本因子加以計算，將高估除役成本，並無法在所有情況下真實反映 CY 目前的結構和系統。因此對 CY 非預期永久停止運轉需要更詳細的計劃及更好的準備。
- 依法規 10CFR50.75 (g) 規定所保持的文件，並不足以完整的反映廠址歷史評估的所有重要事件。在 CY 除役的早期階段，足夠的廠址歷史評估 (HSA) 資料需要大規模的努力工作。如果 10CFR50.75 (g) 文件已經在電廠的運轉期間完全準備好，這將有利於早期除役規劃。

### 4.3. 過渡期活動

#### 借鏡/建議

- 做出永久停止運轉的決定之後，核電廠相關的人力資源問題需要立即處理。這將有助於避免因工人分心所導致人員的錯誤和傷害。
- 制定計劃保留除役所需要的具有電廠知識的關鍵員工，此外，除役的組織需要包括有除役經驗的人員。
- 在過渡期必須準備停機後除役活動報告（PSDAR）。
- 過渡期是執行早期的除役工程最有效率的時期，例如石棉拆除和全系統化學除污。如果早期的除役工程尚未準備好，那麼在這個時期應為設施準備廠址歷史評估。
- 建議最後停止運轉後不久即進行化學除污，維護現場使用設備及雇用有經驗的操作人員，這會使早期應用化學除污的利益最大化。
- 電廠的 $\alpha$ 放射性核種相對於 $\beta$ 和 $\gamma$ 放射性核種污染的比率偏低，對於污染的影響更大，會增加除役控制風險的複雜性及輻射暴露的控制成本。

#### 概述

核發電廠永久停止運轉的通告發佈之後是非常忙碌的時期。必須在這個時期完成的關鍵任務是：

- 人力資源管理和建立除役組織。
- 準備停機除役活動報告（PSDAR），並舉辦公聽會。
- 執行早期除役項目，如石棉拆除和全系統的化學除污。
- 設施的廠址歷史評估調查。

#### 過渡期的人力資源

一旦規劃電廠永久停止運轉必須面對的首要任務之一是解決人力資源問題。CY 很快解決這個問題，將工作人員集中在與安全有關的任務上並完成這些任務。CYAPCO 宣布在 1996 年十二月將成立一個除役組織，員工有機會申請到該組織的職位。

除了相關的人力資源問題需要加以解決之外，除役還需要保留具有電廠知識的關鍵員工及包括有除役經驗的人員。

以下總結 CYAPCO(Connecticut Yankee Atomic Power Company)在過渡期內的活動。

### 過渡期的許可活動

首先是通知 NRC CY HNP 將永久停止運轉和自反應器完全移出燃料。NRC 在 1996 年 12 月 5 日做了這兩項認證。

### 停機後除役活動報告

停機後除役活動報告(PSDAR)是一個簡要概述持照計劃的總體規劃，是執行核電廠除役的摘要文件。CY PSDAR 於 1997 年 8 月 22 日簽發，在 2002 年 10 月 22 日修訂。CY PSDAR 包含以下資料內容。

- 計劃除役活動的說明
- 除役方法的一般描述
- 估計人員輻射暴露量
- 估計放射性廢棄物產生數量
- 除役時間表
- 估計除役成本
- 對環境的影響

建立 PSDAR 需要充足的規劃和估計資料，因此 CY 成立一個專家小組來收集必要的資料。這些資料包括下列的內容：

- 檢討電廠現有的方案，評估其除役適用性。
- 審查和重新分類除役作業系統的重要性。
- 修改程序和執照基本文件以反映電廠卸載燃料及永久停止運轉的架構。
- 調查電廠系統和結構的大小和數量，計算廢棄物數量。
- 進行範圍特性調查以確定電廠系統和結構的輻射狀態以及現場污染土壤的體積。
- 準備詳細的除污/拆解工作的分解程序。
- 估計分解程序工作的暴露量
- 決定是否執行化學除污。

在做出除役決定與 PSDAR 簽發的這段期間，上述資料的建立是在 8 個月內完成。

### 公開會議

在 PSDAR 簽發之後，通常是在收到文件的 90 天內，NRC 在反應器建築物的附近進行一次公聽會，會議提供了一個平台，向大眾公布那些在 PSDAR 中的資料，NRC 還提供除役使用的管理和監督方法的討論。會議是在 1997 年秋季的 Connecticut Haddam 鎮進行。

### 早期的除役工程

#### 保健物理改進計劃

由於在電廠永久停止運轉後不久，發生兩名工人吸入空氣中輻射污染物的事件，因此美國 NRC 將 CY 劃歸在驗證行動通知書(Confirmatory

Action Letter) 的規範之下。由於吸入空氣中污染物，工人收到了顯著的體內暴露，雖然不是過量暴露，但對於工人受到的暴露和 CY 缺乏保健物理人員以及輻射工作人員的做法，受到 NRC 極大的關注。這驗證行動通知書限制 CY 執行具有挑戰性的放射性工作，直到 CY 完成保健物理計劃中某些令 NRC 滿意的改進為止。一旦 CAL 被解除，CY 可以進行重大的除役活動，CAL 於 1997 年 5 月 4 日由 NRC 簽發並於 14 個月後解除。這種限制導致除役活動的延遲。在此期間，對保健物理程序和做法進行完整的審查和更新。HP 程序的主要更新是對下列的領域：

- $\alpha$  污染的檢測和監測
- 體內暴露的評估
- 在輻射控制區工作的控制

在 CAL 解除之後，CY 執行保健物理改進計劃(HPIP)的程序，控制這些除役活動而沒有發生重大事故。

### 石棉拆除

拆除石棉是可以在除役早期就開始的項目。它對後續的除役工作是非常有效的，這樣做有以下原因：

- 拆除石棉一般需要使用外罩罩住。
- 拆除石棉往往不能在同一時間進行相關的系統或管道的移除。
- 拆除石棉可以清空在日後移除系統時經過的路徑。

在 CY 除役期間石棉拆除量約 50 萬磅（22700 公斤），石棉拆除活動的大部份在 2000 年底完成。

### 反應器冷卻系統的化學除污

對於系統是否要執行化學除污，假設兩種情況估算人員輻射暴露量。基本情況是假設不做化學除污，而第二種情況假設反應器冷卻系統和許多輔助系統已做化學除污。圖 4-2 顯示系統最終包括在 CY 全系統的化學除污邊界。

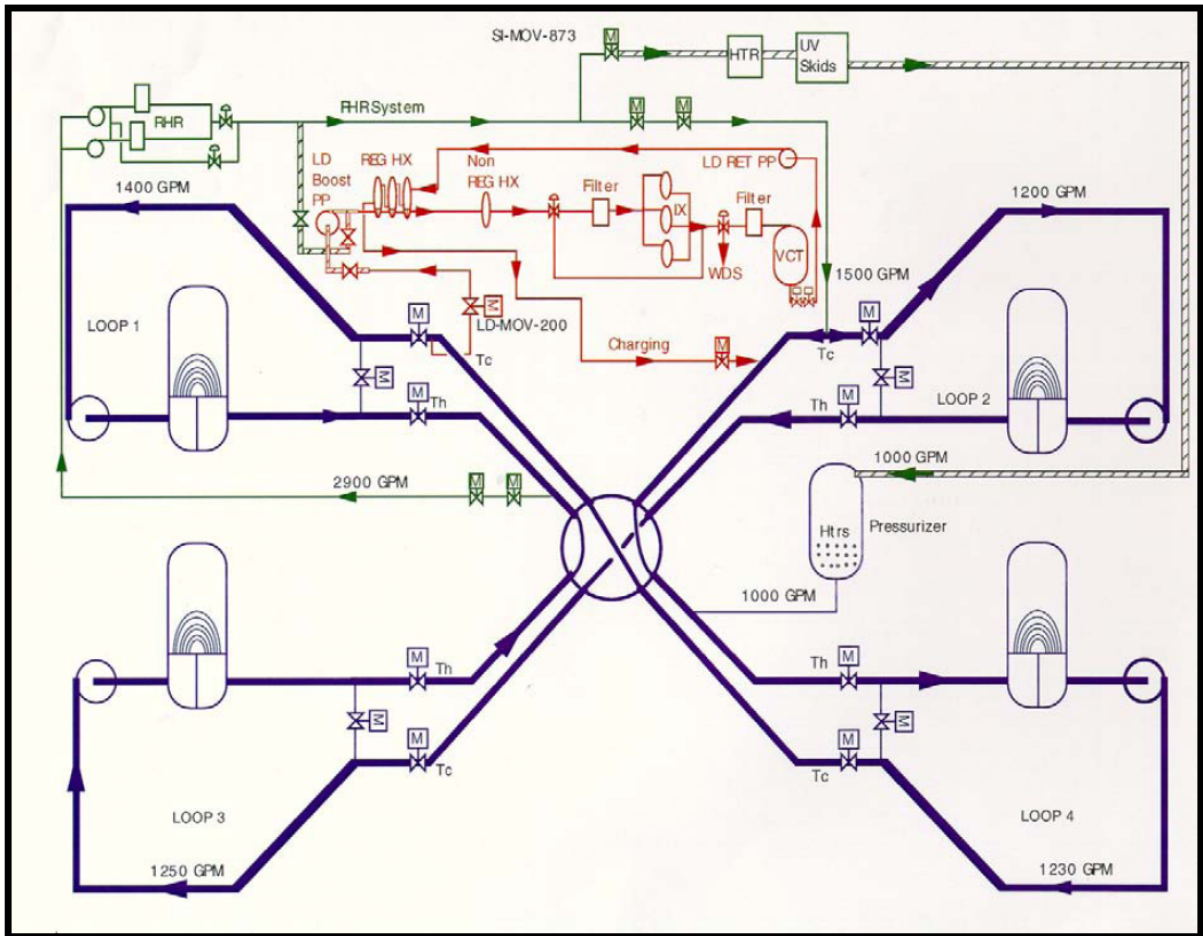


圖 4-2 包含在 CY 化學除污邊界的系統

這兩種情況下的暴露量估計值如下：

- 不做化學除污的輻射暴露量是 1970 Person Rem (19.7 Person Sv)  
(表 4-1 第 2 欄)

• 做化學除污的輻射暴露量是 935 Person Rem (9.35 Person Sv) (第 3 欄表 4-1)

執行化學除污被減少的預估劑量為 1035 Person Rem (10.35 Person Sv) (表 4-1 第 4 欄)。

表 4-1 除役及燃料儲存活動的輻射暴露及預測值

| Column Number  | 2   | 3  | 4  | 5   | 6   |
|--|---|--|--|---|---|
| Activity   | Estimated Exposure w/o Chem Decon (Person-Rem) (for Person-Sv Divide All Values by 100) | Estimated Exposure with Chem Decon (Person-Rem) (for Person-Sv Divide All Values by 100) | Projected Exposure Savings w/ Chem Decon (Person-Rem) (for Person-Sv Divide All Values by 100) | Actual Project Exposure with Chemical Decon (Person-Rem) (for Person-Sv Divide All Values by 100) | Estimated Saving from Chem Decon – Actual Exposures (Person-Rem) (for Person-Sv Divide All Values by 100) |
| <b>Dismantlement Activities</b>                              |   |  |  |   |   |
| Chemical Decontamination                                     | 0   | 32   | (minus 32)   | 35  | (minus 35)  |
| Asbestos Abatement   | 378   | 136  | 242  | 108   | 270   |
| Steam Generators & Pressurizer                               | 182   | 88   | 94   | 45  | 137   |
| Reactor Vessel Internals                                     | 90  | 90   | 0  | 205   | N/A   |
| Reactor Vessel & Head Prep                                   | 72  | 72   | 0  | 49  | N/A   |
| Main Coolant System  | 177   | 17   | 160  | 57  | 120   |
| Plant Systems  | 690   | 248  | 442  | 56  | 634   |
| Structures   | 74  | 74   | 0  | 77  | N/A   |
| Miscellaneous  | 193   | 72   | 121  | 129   | 64  |
| Waste Processing   | 20  | 12   | 8  | 13  | 7   |
| <b>Subtotal Dismantlement Activities</b>                     | <b>1876</b>   | <b>841</b>   | <b>1035</b>  | <b>774</b>  | <b>1197</b>   |
| <b>Operational Activities</b>                                |   |  |  |   |   |
| 1996 Operations  | 1   | 1  | 0  | 1   | 0   |
| 1997 Operations  | 17  | 17   | 0  | 17  | 0   |
| Spent Fuel Pool Isolation Mods                               | 10  | 10   | 0  | 11  | 0   |
| Dry Spent Fuel Storage                                       | 24  | 24   | 0  | 24  | 0   |
| Fuel Transfer/Cask Loading                                   | 42  | 42   | 0  | 42  | 0   |
| <b>Subtotal Operational Activities</b>                       | <b>94</b>   | <b>94</b>  | <b>0</b>   | <b>95</b>   | <b>0</b>  |
| <b>Total for Decommissioning and Fuel Storage Activities</b> | <b>1970</b>   | <b>935</b>   | <b>1035</b>  | <b>869</b>  | <b>1197</b>   |
| Transportation (occupational and to general public)          | 71  | 71   | 0  | 71 (Estimated-Not Tracked)  | 0   |

不做化學除污情況的人員暴露估計值與 NRC 的通用環境影響報告書 (Generic Environmental Impact Statement (GEIS)) [11-2] 中人員暴露估計值進行比較，GEIS 參考的壓水式反應器的人員暴露估計值是 1115 Person Rem (11.15 Person Sv) (除役廢棄物的運輸過程中的暴露包含在這項估計)。因為 CY 不做化學除污的人員暴露估計值超過 GEIS 的暴露估計值，因此 CY 決定執行化學除污，其原因如下：

- 執行化學除污措施可以減少人員暴露，因此是 ALARA.
- 當劑量率和系統內的污染減少時，可以降低整體工程的放射性廢



棄物處理成本，除役活動可以更有效地執行。

- 可以避免花時間在準備電廠特定的環境影響報告書 (Environmental Impact Statement)。

化學除污的詳細資料寫在 EPRI 除役化學除污的總結報告中。以下是一些 CY 化學除污的主要範疇和經驗：

#### (一) CY 化學除污的主要事實

- CY 反應器冷卻系統 (RCS) 的所有部分均包含在除污程序的邊界，然而反應器壓力容器的內部表面和超過 80% 以上的蒸汽產生器管的表面是不做化學除污。這些區域沒有做除污的原因如下：

- 反應器壓力容器的放射性活性幾乎是最高，因此劑量率不會因做了化學除污而顯著減少。

- 蒸汽產生器管的總表面積非常大。管表面的除污會產生大量的離子交換廢棄物。這些管在電廠運轉期間已插入，任何除污將是不完全的。由於蒸汽產生器的處置費用不會因做了除污而大幅減少，所以蒸汽產生器管不做化學除污。

- 為了獲得最大利益，化學除污的邊界盡可能包括許多的輔助系統。這些輔助系統包括部分的化學和容積控制系統，餘熱移除系統和反應器冷卻系統的注水和排水系統（見圖 4-1）。

- 除污過程餘熱移除泵提供流體回流動力，臨時增壓泵提供流體給平行邊系統(parallel side system)的路徑。

- 西門子（目前 Avera 公司）擁有的 CORD 程序被 CY 選為使用的除污程序。關鍵的因素是在 CORD 的過程中產生的廢棄物量相對較低，使用紫外線燈(Ultraviolet Light) “燃燒器(Burners)” 銷毀除污用品降低廢棄物量。由西門子公司提供的除污臨時設備包括：

- 包含兩個可移動式的 300 千瓦加熱器套件。
- 三種可移動式的各含兩個高強度紫外線燈的燃燒器套件。
- 兩種可移動式的化學注入套件。
- 可移動式的遠程監控的套件，可做線上測量氧化還原電位、pH 值和電導率。

• CY 化學除污程序中的系統配置包括安裝在電廠的離子交換器，這個離子交換器的作用是去除放射性離子，及清除流體殘留的化學藥品。在停止運轉後和設備故障的期間，這個離子交換器系統的實質條件已經惡化因此阻礙了化學除污的進展。關鍵的故障如下：

- 在第一個週期，發生閥門錯位(misalignment)和系統過度加壓，使得部分的過程管道失效，導致廠房區域污染，除污工作用了許多的除污化學品，並在被除污的系統內的溶液中發現放射性核種，在流體和離子交換器重新啟動之前這種情況持續超過 8 天。

- 第二個週期的後期階段，清理除污溶液的離子交換過濾器的容器底部失效，導致含有放射性的離子交換樹脂中被沖到下游管道，這些樹脂在過程管道拆除時需要透過吸塵器吸取移除。

截至 2006 年中期，所有 CY 除役暴露高的工作已經完成。表 3-1 第 5 列表示所有除役任務受到的實際暴露量。第 6 欄表示節省的暴露量，它是實際暴露量與除役計劃估計量的差值，所以化學除污的任務所節省下來的輻射暴露量是 1197 person-rem (11.97 person Sv)。雖然這些節省可能是由於其他 ALARA 措施，可以確定的是 CY 全系統化學除污是人員輻射暴露最節省的原因。表 4-2 顯示了實際化學除污執行與預期的比較：

表 4-2 CY 化學除污-預期的與實際的

| Performance Metric        | Expected                                  | Actual                                     |
|---------------------------|---|--|
| Decontamination Factor    | 15  | 15.9                                       |
| Co-60 Activity Removed    | 300 Curies (1.1 E+13 Bq)                  | 129 Curies (4.8 E+12 Bq)                   |
| Total Resin Generated     | 600 ft <sup>3</sup> (17 m <sup>3</sup> )  | 465 ft <sup>3</sup> (13.2 m <sup>3</sup> ) |
| Resin Required by Process | 215 ft <sup>3</sup> (6.1 m <sup>3</sup> ) | 115 ft <sup>3</sup> (3.3 m <sup>3</sup> )  |
| Area Dose Reduction       | 90-93 %                                   | 90 %                                       |

除污所需的樹脂量和實際樹脂量不同的原因是由於 CY 鈾的放射性核種是包含在氧化膜中。為了不使樹脂床中的樹脂超過處理限制（產生超 C 類等級的廢棄物），因此在樹脂被耗盡之前就預先更換。如果電廠的燃料具有相對較高濃度的 TRU 氧化膜，那麼化學除污過程產生的樹脂就需要仔細監測。

#### (二) CY 全系統化學除污的經驗

- 以上的討論凸顯除污設備系統實質條件的重要性。停止運轉後不久即進行化學除污，維護現場使用的設備，使設備保持完整性和可操作性，以及雇用有經驗的操作人員，這使早期就應用化學除污的利益最大化。

- 除污承包商和現場部門之間需要合作。

- 安裝 RHR 永久水泵提供高流速流體，這有助於除污工作在兩個週期內達到令人滿意的除污效果。

- 使用安裝的調壓加熱器提供良好的熱源，可減少臨時設備的數量。

- 如果需要使用電廠安裝的離子交換器，應該要準備臨時的離子交換器作為備份。

- 在監測過程中使用遙控電視攝影機和遠程劑量監測系統幫助減少人員接觸暴露。

- 如果電廠使用的氧化膜有超鈾的活性，樹脂裝料(loading)需要密切監控，以確保不產生超 C 類廢棄物。

### 熱點減少計劃

熱點(Hot Spot)減少計劃的目的是要識別和移除影響區域劑量率高的元件。在移除此區域的其他設備之前，這些元件會先清除，以減少整體人員在此區域所受到的暴露。

CY 熱點減少計劃包括以下內容：

- 在電廠系統已經排水的區域，移除已確定的“熱點”組件。
- 在圍阻體建築物內的“熱點”是那些保持反應器腔充滿水的組件，這些組件形成隔離邊界，在圍阻體內的元件被移除之前，這些隔離邊界的組件不可先移除。

### Cold and Dark

其他電廠除役經驗顯示，當電廠系統從很早就被移除時，會導致不安全及低效率的工作條件。為了減少這種問題，CY 在除役初期進行了一個有限的 cold 和 dark 項目。為除役所需的系統做連接及重新通電。CY 利用橙色電纜連接代表架設的電力電纜線是通電的。這種方法在其他設施上用的很成功。雖然少數例子發生電纜連接認為是斷電的狀態，但實際上仍然是通電的，這代表嚴重的安全隱憂。因此在電氣系統移除之前所有相關的電氣連接狀態應先確認。

### 廠址歷史評估

廠址歷史評估 (HSA) 的目的是確定現場污染的程度和性質，以及審查電廠操作過程中發生的事件。初步鑑定是依照“多機關輻射調查和

現場調查手冊”（MARSSIM）的內容執行，廠址歷史評估在 1997 年開始進行調查並於 1999 年完成。

盡早完成廠址歷史評估對除役工作是非常重要的，因為它會引導如何進行除役及除污。完成初始的 CY HSA 需要 5000 人小時。執行 CY HSA 的方法包括以下內容：

- 用電腦搜尋電廠與後續審查文件的記錄，搜尋針對放射性事件的文件、運營調查記錄、每年 NRC 的環境影響評估報告。
- 對過去和現在的員工作做分散式問卷調查，要求他們識別過去的污染事件。
- 審查電廠的照片和修改文件，以確定電廠已移除污染事件地點附近的土壤。對於需要進行鑑定的地點做特性採樣，這對廠址歷史評估工作是非常有用的。

雖然 CY HSA 主要集中在調查廠址的輻射狀態，也評估了危險和州政府主管機關要求整治的非放射性物質。在之後討論的資源保護和回收法改正行動計劃(Resource Conservation and Recovery Act Corrective Action Program (RCRA CAP))進行了一個更詳細的非放射性物質評估。

#### （一）初始的範圍和廠址特性

進行範圍調查，確定廠址系統、結構和土地區域的輻射狀態，同時也用 HAS 的調查結果，這些努力可概括為以下主要的任務領域：

- 系統狀態 – 調查是集中在那些沒有連接到已知污染的系統或可能被已知污染系統的洩漏污染的系統。對於已知污染的系統採樣，不需要像以前的保健物理那樣做例行調查收集數據。範圍界定調查的進行是藉由打開閥體和過濾器、組件孔道，或切割設施等動作做確認。

- 結構調查 -調查是集中在未知污染的那些結構。利用塗抹檢查 (smear survey)和混凝土鑽芯取樣來確定污染物和需要整治的數量。

- 土地區域-土壤取樣是使用安裝直推 (商品名 GeoProbe) 設備的拖車和手動分割的勺子。因為廠址的外釋限值尚未制定，所以樣品濃度與 NRC 的限制值(列在 Federal Register [11-4]提供估計土壤整治量)進行比較。

範圍界定調查的結果編寫在範圍界定的調查報告中，這也成為運作保健物理計劃(Operational Health Physics Program) 調查的一部分。範圍界定調查結果，提供給投標的除役操作承包商。在 1998 年底對投標人的要求，進行補充特性採樣(supplemental characterization sampling)，以增加對廠址放射性的狀態的了解。

在初始 HNP 特性調查計劃期間所發展的資料，代表放射性和有害物質的評估，這個評估是根據在 1999 年底可用的知識及資料。完成初始廠址特性調查，允許 CY 除役計劃：

1. 為了現場調查和分類的目的，將 HNP 劃分為幾個地區；
2. 確定系統中、結構上，表土或次表土中以及地下水的放射性污染；
3. 確定每個調查區域的初步分類；
4. 規劃建築物除污，拆除和廢棄物處理，發展初始的放射性和有害物質的資料；
5. 發展資料支持最終狀態調查(Final Status Survey)設計，這個設計包括儀器的性能標準和品質要求；
6. 確定任何與除役相關的放射性有害物質的議題。

圖 4-3 顯示了 CY 廠址歷史評估的土地 MARSSIM 分類，基於 HSA 和廠址特性的調查結果，電廠的 93 畝土地被認定為“不影響”，其定

義參閱 MARSSIM。調查的結果確認電廠需要除污的區域，以及確定清理方法和其相關費用的計劃。徹底的 HSA 的發展對 CY 的除役很有幫助，因為它幫忙找到地下水的污染源頭和其他需要整治區域。建議在除役的早期進行徹底的廠址特性調查，因為廠址特性調查的結果將會影響除役工作的進行。

*Transition Activities*

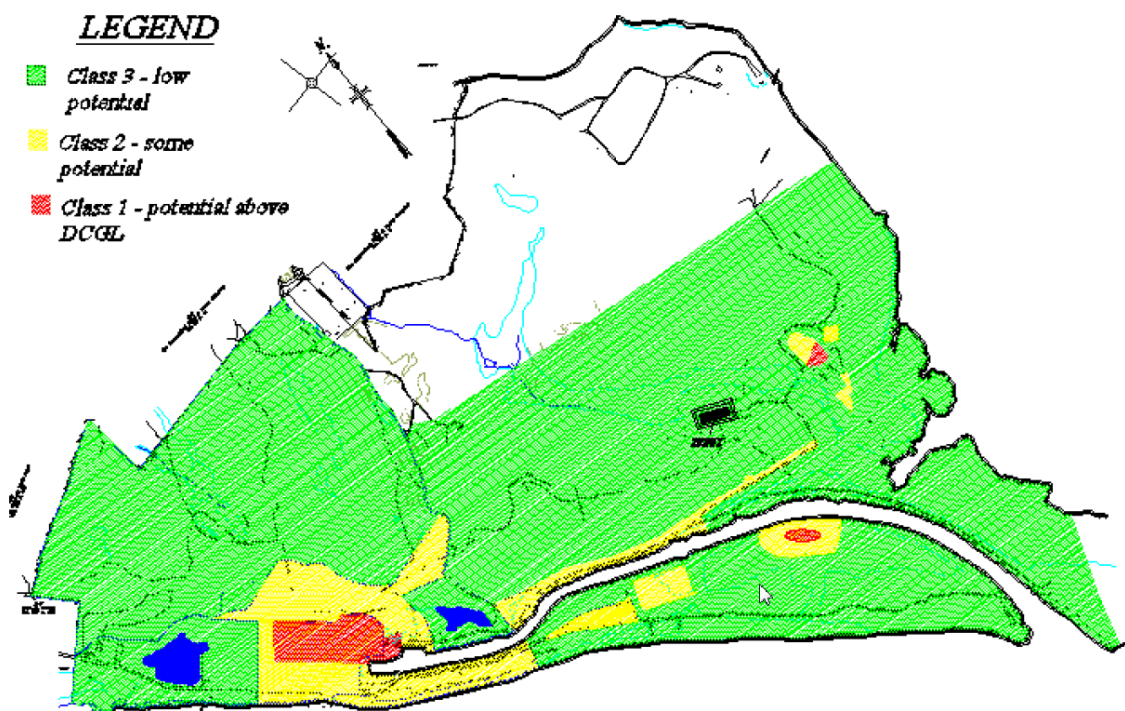


圖 4-3 CY 土地區域的 MARSSIM 分類

### $\alpha$ 污染的影響

在 CY 範圍界定調查期間，發現電廠的  $\alpha$  放射性核種相較於  $\beta$  和  $\gamma$  的比例偏低，大多數核電廠的“ $\beta$  對  $\alpha$ ”的比例是 1000 比 1 或 5000 比 1，在 CY 這個比例平均是 80 比 1，有一些區域甚至低至 10 比 1。針對  $\beta$  對  $\alpha$  的比例偏低，CY 的保健物理程序需要修改。

$\alpha$  放射性核種的危害是造成體內暴露，體內暴露是吸入污染物而不是攝食。當在  $\alpha$  污染水平高的地方作業，必須增加防護控制，保護工人避免吸入污染物。

關於  $\alpha$  污染，HP 的做法是做危險評估。CY 也採用這樣的做法，透過許多的調查和監測方法做危險評估，作法如下：

- 統計塗抹調查區域的  $\alpha$ 、 $\beta/\gamma$  放射性核種。
- 以塗抹的調查結果為基礎，更新電廠區域的  $\beta/\alpha$  比例。這些比率用於設定連續空氣監測報警裝置的觸發水準及做為發佈區域為“空氣污染的地區”的依據。
- 利用特殊的“ $\alpha$  cam”連續空氣監測設備，監測高  $\alpha$  污染區域的空氣。
- 對評估區域和 lapel 空氣取樣，利用一種特殊的  $\gamma$  能譜探測器檢測低能量的  $\gamma$  放射性核種。

一旦確定區域的  $\alpha$  污染水平，在此區域執行的工作需要加強防護控制，加強管制包括以下內容：

- 輻射工作區工作需要許可執照
- 要求所有區域作塗抹檢查以計算  $\alpha$  污染
- 在帳棚區(Tenting)或工作區工作需要良好的通風
- 需要監測工人呼吸區域的 lapel 空氣採樣
- 工人須佩戴防護呼吸器

在出現高  $\alpha$  污染的區域將會大大增加防護控制。這些增加的防護控制，減緩了工作進度及伴隨增加保健物理的要求，使 CY 除役的成本顯著增加。

## 非現場物料回收工程



在過去確定的時期，從廠區上偵測自由釋出物料中放射性核種的技術不如現有技術靈敏。也有一些地方沒有進行徹底調查的情形。在 20 世紀 70 年代間，導致材料中帶著非常低劑量的可被偵測到的放射性核種由廠區釋出，這些材料例如土壤，混凝土塊和其他建築材料。需要對這些釋出的材料做大規模的調查，這調查稱為“非現場的物料回收工程”(Offsite Material Recovery Project (OMRP))，調查是從確定的非現場的釋出材料中擷取一些材料分析其特性。從除役工作轉移作 OMRP 的人力資源成本，耗資約 1000 萬美元。

### 與利害關係人的互動

核電廠進行除役需要與利益關係人有較高的互動，CY 除了與 NRC 的公開會議和聽證會之外，還決定與一群當地居民定期舉行公眾集會。該群體稱為社區的除役活動理事會 (Community Decommissioning Activities Council (CDAC))，社區的除役活動理事會是由地方團體組成，團體成員包含反核團體，地方民選官員和其他市民代表。公眾集會使民眾了解除役工程的進行和提供關於 CY 除役問題的討論。

## 4.4 除役分包商

### 借鏡/建議

- 雖然在概念上使用固定價格合約來進行除役似乎是可行，然而 CY 電廠和其他電廠用這種固定價格合約進行除役，通常涉及許多處理合約變化和 DOC 的範圍的爭議。

- 除役電廠，需要利用許多專業分包商。正確的選擇分包商對除役的成功是非常重要的。

### 自我執行除役

CY 電廠最初打算自我執行除役。成立的除役組織混合保留 CY 的員工和從其他廠址帶入有除役經驗的經理人和工程師。為了滿足這需求，在 1996 年底 CY 提出了除役操作承包商 (DOC) 的建議要求，經過評估之後，到 1998 年才決定利用除役操作承包商執行 CY 除役。

### 除役作業承包商

在評估之後與 DOC 簽訂合約，和約基本上包含一個總承包範圍 (turnkey scope)，從 CY 在周轉期的狀態給 DOC，將建築物拆除，最後的分類及執行最終狀態調查允許廠址無限制的使用。在 2003 年 7 月，CY 決定自我管理除役工作的剩餘部分。然在概念上使用固定價格合約來進行除役似乎是可行，然而 CY 電廠和其他電廠用這種固定價格合約進行除役，通常涉及許多處理合約變更和 DOC 的範圍的爭議。

### 附加的分包合約

除役期間 CY 和 DOC 與許多轉包商簽訂合約。這些合約為專業的服務。專業轉包商包括工程如下：

- 全系統化學除污
- 石棉拆除
- 反應器內部的分割
- 燃料的轉移
- 主構件和大管件切割

CY 決定在 2003 自我管理除役工作，一些關鍵的轉包合約直接由 CY 管理。2004 年 6 月 CY 用固定價格與當地的建築公司簽定拆除承包合約，執行大部分現場剩餘的工作。在這份報告簽發時，這家公司仍在持續執行大部分 CY 除役的工作。

## 4.5 用過核子燃料貯存

### 借鏡/建議

- 對電廠除役，從濕式儲存到乾式儲存方式變化的時機是很關鍵的。可能會由用過核子燃料儲存池的位置與需要被淨化和拆除的其他電廠結構的相對位置決定這個時機。

- 為了使在電廠其他系統和結構的除役變得容易，修改附加系統或現有系統，使濕式的燃料儲存設備自我支援運作，才能釋出其他燃料儲存支援系統作除役。

- 用過核子燃料轉移到乾式儲存是相對較高的危險工程。成功的燃料轉移工程的關鍵要素是：

- 利用其他電廠燃料轉移活動的經驗。
- 雇用最近一直在另一個現場上執行燃料轉移操作、工程和焊接人員。

### 概述

核電廠永久停止運轉之後最具挑戰性的工作之一是用過核子燃料的處理，下列是一些影響 CY 燃料儲存的關鍵環節：

- CY 用過核子燃料是儲存在緊鄰著反應器的圍阻體。支援用過核子燃料操作的許多系統位於其他建築物。這些支援系統包括冷卻飼水、液態放射性廢棄物處理和供電系統。

- 用過核子燃料儲存轉移到乾式儲存，需要一段時期使燃料發出的衰變熱和它的反應性下降到適當的程度，在乾式貯存筒結構內不會發生燃料危害或到達臨界。從 1995 年最後一批燃料自反應器卸載後，這個冷卻期大約需要 5 年。

- 由於儲存池的位置靠近電廠其他結構，在儲存池附近的除役活動需要小心的執行，確保燃料儲存安全。

考慮上述的環節，在永久停止運轉之後，用過核子燃料的儲存利用兩階段的方法：

### 用過核子燃料儲存池島

在短時期內，燃料廠房將被修改成為獨立設施，不需要位於其他廠房的任何系統的運作。這個概念是將燃料廠房變成“核島(nuclear island)”，這使更多的除役活動在現場進行。這個概念包含以下必要的修改：

- 安裝一個氣冷式的最終熱沉系統以消除衰變熱，燃料透過燃料池傳熱給空氣，這個修改使飼水系統被釋出除役。

- 安裝淨化燃料儲存池的離子交換器，使永久安裝的液態放射性廢棄物系統被釋出除役。

- 安裝緊急事件柴油機確保供應備用電力給儲存池的運轉設備。

- 修改通風系統的輻射監測和補給水供應。

- 新設備認證和品質計畫是設定使用在燃料廠房島上。”用過核子燃料 QA” 需要充足評估新設備，而不是只被有核資格的製造商建造。

這些修改在 1998 年完成。一旦燃料廠房已經轉變為包含全部需要的支援系統，在電廠其他區域的系統進行重新分類及拆除和處置。尤其是將那些包含在 screenwell house 裡的系統釋出，主要有輔助建築物、離子交換機建築物和控制中心建築物，這些系統釋出使系統移除和拆除活動進行的更快，比只等待用過核子燃料可以轉移到乾式儲存時才將這些系統拆除的作法要快的多。

### 長期燃料儲存方法的選定

進行長期儲存成本評估，比較兩種燃料儲存選項：

- 一種是將燃料繼續儲存在燃料廠房內的水池中
- 另一種是建立一個獨立的用過核子燃料儲存裝置，簡稱 ISFSI

將燃料繼續儲存在燃料廠房內的水池中所需要的操作成本有：

- 安排操作和維護人員監控儲存池的狀態，並且維護廠房的系統可操作。

- 包含燃料廠房管制區的安全維護和放射線防護。
- 任何燃料的轉移操作及裝運轉移燃料給 DOE 和進一步的儲存操作。
- 如果需要維護燃料儲存的安全，廠房附近的除役將會更難做，。

ISFSI 燃料儲存選項所需要的操作成本有：

- 設計和建造儲存墊及乾式貯存筒系統，
- 製造 40 個混凝土桶和用來儲存燃料的燃料貯存筒，
- 維護 ISFSI 安全的設施和人員，
- 燃料從儲存池移到 ISFSI pad 的傳送操作，
- 轉移包含燃料的貯存筒到 DOE 的裝運及進一步的儲存操作。

評估的結果確定 ISFSI 選項是最符合成本效益，並且它也是把燃料放進一個更安全的結構中。

### 燃料轉移到乾式儲存

CYAPCO 決定將 NAC 國際多用途筒(Multi-Purpose Canister (MPC))系統用於 CY 的乾式儲存系統。選用 MPC 系統的關鍵要素是：

- 燃料儲存在筒中，可以運送到另外一個 ISFSI 設施或者到 DOE 的倉庫。
- 可得到運輸筒的介面標準化尺寸與和未來儲存設施的概念設計。

ISFSI 設施是建造在距離圍阻體建築物約 0.75 英里。這個位置確保除役活動不會威脅燃料的安全，並且從 ISFSI 放射出的輻射將不干擾在現場

實施的最終狀態調查(Final Status Surveys)。圖 4-4 顯示完成的 CY ISFSI 設施，這個設施包含 40 個燃料貯存筒和 3 個超 C 類貯存筒(包含分割的反應器內部組件)。



圖 4-4 CY ISFSI

ISFSI 設施的設計和建造一旦完成即開始轉移燃料。為使燃料轉移變得容易，需要進一步修改燃料廠房。這些只局限於某些牆的移除，以容許桶焊接平台的進入。也需要修改燃料廠房外面的 Yard Crane，將 Yard Crane 升級到單一失效保證，確保在燃料搬移期間的使用安全。

CY 藉由學習其他電廠的處理經驗，順利的將燃料轉移到乾式貯存筒。燃料轉移的主要要求之一，是必須保證貯存筒內部乾燥和充滿惰性氣

體，這項任務非常費時。CY 使用改進的技術減少燃料轉移傳送的時間，其方法如下：

- 稍微地將貯存筒傾斜和運用筒底加熱方式加速內部乾燥。
- 改進焊接設備和程序。
- 雇用最近一直在另一個現場上執行燃料轉移操作、工程和焊接的人員。

這些因素促成 CY 成功的執行燃料轉移工程。下列是一些成功的指標：

- 燃料轉移工程的總輻射暴露量是 42 Rem 與工程開始之前估計的相同。
- 燃料轉移工程提前一年完成。

#### 4.6 主管機關和利害關係人的互動

##### 借鏡/建議

- 一座電廠除役實施期間需要多次額外的資金。
- 在除役期間與主管機關和社會大眾會有更多的互動，討論廠址外釋標準的制定和公聽會的意見交流。
- 廠址外釋標準批准的計畫是資源密集型的需要許多年的時間來完成。
- 多種的法規的規定，由不同的主管機關要求不同的外釋標準會顯著增加除役的成本。

##### FERC 比率案例

在 1998 年和 2005 年，CY 對聯邦能源法規委員會提出兩個除役資金的比率變更要求。行政法律委員會法官 (administrative law board judge) 的審判在這兩個案例中，必要資金授予 CY 的共同所有人，在第一個資金比

例的案例中，最高限額被放在土壤整治的成本上，那些成本能夠轉嫁給納稅人。

### ISFSI 貯存墊許可

在 Haddam 鎮為 ISFSI 設施申請建築執照需要相當多的時間，因為一些鎮民認為 ISFSI 應更接近現場的工業區。最後雙方達成協議並取得建築執照，允許設施開始建設。

### 廠址外釋標準

許多法規和協議是決定廠址外釋標準的因素。接下來將討論在決定廠址外釋標準時主管機關與利害關係人的互動。

### 放射性的外釋標準

CY 廠址放射性外釋標準的決定需要與美國 NRC、康乃狄克州、美國 EPA 和當地利害關係人互動討論。

#### (一) 美國 NRC

美國聯辦法規 NRC 10CFR20.1402 【10-5】定義一個廠址外釋符合無限制使用的標準。該法規要求，沒有關鍵人群的平均成員受到停止運轉後的劑量超過 25 mrem/yr(0.25 mSv/yr)。

在 2000 年 7 月 CY 準備執照終止計畫並提交給 NRC，計畫中對 CYAPCO HNP 除役定義如何符合法規要求，這計畫包括達到需要整治限制的計算結果，符合 NRC 25 mrem/yr(0.25 mSv/yr)的標準。經過 NRC 充分審查後，在 2000 年底接受 CY 的執照終止計畫(LTP)，後來在 2001 年 2 月和 3 月 NRC 又對 CY 發送兩項附加資料的要求(RAIs)。共有 121 種 RAIs 分類在下列中：

- 足夠的廠址特性



- 調查區域劃分
- 地下土壤調查
- 劑量模型參數

經過無數次的會議和電話會議，NRC 的意見得到解決，2002 年 11 月批准 CY LTP。

依據 NRC LTP 批准程序的定義，進行一次公開會議，介入者 (intervener) 在會議上提出問題。這些問題到 NRC 原子安全授證委員會 (NRC Atomic Safety Licensing Board (ASLB)) 處理之前將經由聽證程序解決。有兩個介入者提出問題，康乃狄克州公用事業委員會 (State of Connecticut Department of Public Utilities Commission (CT DPUC)) 以及公民意識網絡 (Citizens Awareness Network (CAN))，這兩個介入者被准許參加 LTP 聽證會。行政法律法官需要解決介入者提出的三個問題，可以概括如下：

- CT DPUC 提出的問題
  - 調查區域沒有適當的分類
- CAN 提出的問題
  - 決定放射性外釋標準的劑量建模的參數是不正確的。
  - 計算劑量的方法其關鍵人群的平均成員沒有充分考慮兒童的劑量。

透過發現過程和隨後的談判達成一項協議，CT DPUC 全部問題被解決，透過更嚴格的重新分類若干調查地區的組合，並加入不同介質的取樣（魚）或自其他調查區域增加取樣，後來 CY 也解決 CT DPUC 的憂慮。

CAN 提出的許多論點經由 ASLB 贊助的調解解決。剩下的論點在 2003 年 3 月的聽證期間以辯論方式處理，直到 2002 年 11 月上述問題獲得解決，NRC 批准 CY LTP 後才會進行聽證會。在 2003 的 11 月 ASLB 裁定 CY 放射性的廠址外釋標準批准程序符合 NRC 標準。

## (二) 康乃狄克州

在除役的末期，CY 計畫運送許多的廠址財物給不同的擁有者，這時就需要滿足康乃狄克州“財產轉移法”(State of Connecticut Property Transfer Act)。康乃狄克整治標準法規(State of Connecticut Remediation Standard Regulations (RSRs))將是適用的外釋標準法規。RSRs 有列出關注的放射性核種但沒列入放射性核種的具體濃度，(CT 部門)康乃狄克環保部門(Connecticut Department of Environmental Protection)制定的標準是基於在廠址外釋之後的個人患癌症的風險。CT 部門所決定的 19 mrem/yr(0.19 mSv/yr)的外釋標準(TEDE)是對於一個關建人群的平均成員，滿足患癌症潛在風險十萬分之一的要求。

CT DEP 的 RSRs 還包含額外的地下水的整治標準。標準規定在地下水層的背景值下，放射性核種不能出現在 Class GA 含水土層(CY 廠址有一種居住的，種類 GA，地下水分類)。通過討論一致認為，美國環保局公佈的最大污染物水平(a.k.a 飲用水標準)將是一個充分的符合標準，即“沒有可測量的濃度超過背景”。MCLS 是水中放射性核種的濃度，根據 1975 年國際輻射防護(International Council on Radiation Protection)出版物 ICRP-2 的計算方法，如果一年以“平均”飲用水率消耗地下水將會導致器官劑量 4 mrem/年(0.04 毫希/年)。國際放射防護委員會最近公佈的劑量評估是根據總有效劑量當量(TEDE)的方法而不是器官劑量的方法。使用較新的方法，針對 CY 主要的地下水中的放

射性核種氚 (H3)、銨 90 (SR-90)，在 MCL 計算中用吸入率則 TEDE 劑量約 1 mrem/年 (0.01 毫希/年)。NRC 的執照終止標準是 TEDE 25 mrem/年 (0.25 毫希/年)。稍後將在第 9 章節討論地下水的影響，這個因素導致 CY 需要整治的土壤量大幅度增加。

### (三) EPA/NRC 共同協議備忘錄

關於在 2002 年 10 月 9 日的放射性核種整治標準，EPA 和 NRC 發布一個共同協議備忘錄(memorandum of understanding(MOU))。定義放射性核種濃度如果出現在 NRC 許可的設施執照終止時，將起動 NRC 和 EPA 之間的協商。雖然協商的範圍沒定義在 MOU，但是這些協商可能導致整治的標準是根據 EPA 標準。MOU 包括土壤和地下水審查濃度，以及廠址作為居住或將來做工業使用的濃度。

### 外釋標準/多種法規的比較

表格 6-1 是不同主管機關的放射性核種外釋限值的表格。對廠址關閉之後保留在現場上的混凝土也有外釋標準，當多個主管機關法規對混凝土的整治量的影響是不顯著時，它們的整治量不包括在內。

表 4-3 不同的主管機關的外釋限值比較

| Media/Limit   | NRC 25<br>mrem/yr<br>(0.25 mSv/yr)<br>(CY LTP) | State of CT<br>RSRs 19<br>mrem/yr<br>(0.19 mSv/yr) | EPA/NRC MOU –<br>Residential Soil<br>Levels | Soil Remediation<br>Concentration to<br>Achieve MCLs |
|---------------|--|--|---|--|
| Soil: Co-60   | 3.81 pCi/g<br>(0.14 Bq/g)                      | 2.9 pCi/g<br>(0.11 Bq/g)                           | 4 pCi/g<br>(0.15 Bq/g)                      | 3.5 pCi/g<br>(0.13 Bq/g)                             |
| Soil: Cs-137  | 7.91 pCi/g<br>(0.29 Bq/g)                      | 6 pCi/g<br>(0.22 Bq/g)                             | 6 pCi/g<br>(0.22 Bq/g)                      | 3.3 pci/g<br>(0.12 Bq/g)                             |
| Soil: Sr-90   | 1.55 pCi/g<br>(0.06 Bq/g)                      | 1.18 pCi/g<br>(0.04 Bq/g)                          | 23 pCi/g<br>(0.85 Bq/g)                     | 0.065 pCi/g<br>(0.0024 Bq/g)                         |
| Soil: H-3     | 412 pCi/g<br>(15.2 Bq/g)                       | 313 pCi/g<br>(11.6 Bq/g)                           | 228 pCi/g<br>(8.4 Bq/g)                     | 3.3 pCi/g<br>(0.12 Bq/g)                             |
| Water: Co-60  | 1,140 pCi/L<br>(42.8 Bq/L)                     | 100 pCi/L<br>(3.7 Bq/L)                            | 100 pCi/L<br>(3.7 Bq/L)                     | N/A  |
| Water: Cs-137 | 431 pCi/L<br>(15.9 Bq/L)                       | 200 pCi/L<br>(7.4 Bq/L)                            | 200 pCi/L<br>(7.4 Bq/L)                     | N/A  |
| Water: Sr-90  | 251 pCi/L<br>(9.3 Bq/L)                        | 8 pCi/L<br>(0.3 Bq/L)                              | 8 pCi/L<br>(0.3 Bq/L)                       | N/A  |
| Water: H-3    | 652,000 pCi/L<br>(24,124 Bq/L)                 | 20,000 pCi/L<br>(740 Bq/L)                         | 20,000 pCi/L<br>(740 Bq/L)                  | N/A  |

從表 4-3 可以看出對於土壤和地下水，康乃狄克州的 RSRs 全部所列的主要放射性核種是最嚴格的標準。在某些情況下，EPA/NRC 的協議備忘錄標準與 RSRs 相同，但在任何情況下，RSRs 的標準不是最嚴格的標準。因為 CY 已經承諾在財產轉移之前(以實現在 2007 年中執照終止時的目標)達到符合 RSR 的水準。預計 EPA/NRC MOU 的協商將不被啟動。

進一步審查表 6-1 所列，最嚴格的土壤濃度(以滿足 CT DEP 的 RSRs)不會比 CY LTP 所定義的土壤濃度低很多。因此，CT DEP 的土壤標準預計不會影響土壤整治量。

然而 RSRs 和 NRC/EPA MOU 地下水的外釋標準比 CY LTP 中定義的標準低很多。因此為了滿足對地下水的 RSRs 和協議備忘錄的限值，造成更多 CY 土壤整治量的原因如下：

- 由於地下水或者降雨透過土壤，某些放射性核種從土壤釋放出來。
- 如果放射性核種在污染土壤和地下水之間很容易被調動起來，土壤中所含的放射性核種，會導致地下水中放射性核種的濃度超過地下水標準。事實已證明了氚 (H3) 和銨 90 (SR-90) 這兩種核種在 CY 地下水中的濃度是偏高的，在表 6-1 最後一欄可以看出。為了滿足廠址在最後狀態的 MCL，氚的整治水平需要再低 95 倍和 SR-90 的水平需要再低 18 倍。CS-137 的整治水平需要再低 45%。正如下面所討論，這些因素導致 CY 需要整治土壤的數量大幅度增加。

正如在本報告後面表 9-1 所示，CY 現場外釋要滿足 MCLS 需要額外整治的土壤體積是 412,000 立方英尺(11,700 立方米)。假設土壤密度(1 公斤/立方米)75 磅/立方英尺，額外土壤整治的總重量是 31 百萬磅(1400 百萬公斤)。整治運輸和處置土壤的總成本是約為 12.4 百萬美元，處置單位價格是 0.40 美元/磅(0.18 美元/公斤)(近似率採用可用批量折扣)。事實證明“多重主管機關”(multiple regulation)的整治要求所增加的整治成本是非常可觀的。

## 非放射性的外釋標準

### 康乃狄克州

CY 與各種利害關係人之間，對非放射性的危險物品的外釋標準也需要高度的互動討論。因為在除役結束時 CY 計畫運送大多數廠址資產給不同的擁有人，須符合康乃狄克財產轉移法。那時候 CY 整治標準法

規(State of Connecticut Remediation Standard Regulations (RSRs))將是適用的外釋標準。CY 對大多數關注的非放射性成分是用 RSRs 定義的清理標準運作。然而，某些化學物質如硼和鋰，RSRs 沒有定義清理標準。康乃狄克環保部門(CT DEP) 按照 RSRs 制定額外的污染物質標準並批准。

#### (一) 美國 EPA RCRA 改正行動計畫

CY 廠址是 EPA 資源保護和回收改正行動計畫(RCRA CAP) 的一部分，透過在美國 EPA 波士頓麻薩諸塞的辦公室，CY 非放射性材料的評估和清除是放在 RCRA CAP 計畫下執行。由於 CT DEP RSRs 中的標準比環保局的標準更嚴格，所以 RSRs 的標準用於履行這兩項計畫。

在所有整治被完成之後，CY 的地下水監控必須持續 2 至 4 年 (取決於取得的地下水濃度)。基於當前的時間表，在 2008 年以前 CY 大部分財產不會轉移，除非轉移的業主能承擔地下水監控責任。

## 4.7 使用的技術

### 借鏡/建議

- 核電廠反應器壓力容器內部的分割是非常具有挑戰性的工程，需要從人員的風險、成本和時間表的角度精心策劃和準備。
- 像蒸汽產生器和反應器容器那樣的大部件的運輸，由於有限的配置和運輸選項，會出現許多的挑戰。
- 許多建築物拆除，迅速產生大量的放射性廢棄物。廢棄物包裝和運輸技術需要考慮到的這個因素，以避免除役時出現放置空間的問題。

### 主要組件的裝運和處置

#### 蒸汽產生器移除、裝運和處置

CY 蒸汽產生器的上部(叫 Steam Dome)是從下部用水平切割分離，並且以鐵路運輸運到 Energy Solutions 猶他州克萊夫的處置廠 (經過大約 8 英里的公路運輸通過多車軸轉運到附近的鐵路支線)。下部的蒸汽產生器(圖 4-5)包含通道頭部(channel head)和管束(tube bundle)使用駁船(圖 4-6)運到南卡羅來納州，再以南卡羅來納州海岸的鐵路線(圖 4-7)運輸到 Barnwell。



圖 4-5 蒸汽產生器較低組件的底端





圖 4-6 移動蒸汽產生器下端組件至駁船滑台



圖 4-7 鐵路運輸蒸汽產生器下端組件從南卡羅來納州海岸至 Barnwell

#### 反應器冷卻泵和抑壓器

反應器冷卻泵及抑壓槽的移除和裝運也完成而沒有意外事件，這些組件的活性相對較低，以鐵路裝運蒸汽產生器圓頂運送到 Energy Solutions 設施。

#### 反應器容器移除和運輸

CY 反應器壓力容器的拆除和裝運是利用薩凡納河足夠的水流量以駁船(barge)運輸到 Barnwell。

#### 反應器內部的分割

### 分割計畫

內部分割工程的目的是分開反應器壓力容器內部組件(圖 4-8)屬於 GTCC 部分，由於 Barnwell 處置設施要求每個包件的輻射量不得超過 50,000Ci，需要移除的反應器內部組件大約 750,000Ci，切割方法使用磨料水刀(abrasive water jet)將 GTCC 部分切割成適合尺寸放入 FAS (fuel assembly sized) 筒。FAS 筒放入貯存筒(canister)中，再把貯存筒放入混凝土護箱內，混凝土護箱的尺寸與 ISFSI 設施上燃料貯存筒的尺寸是相同的。

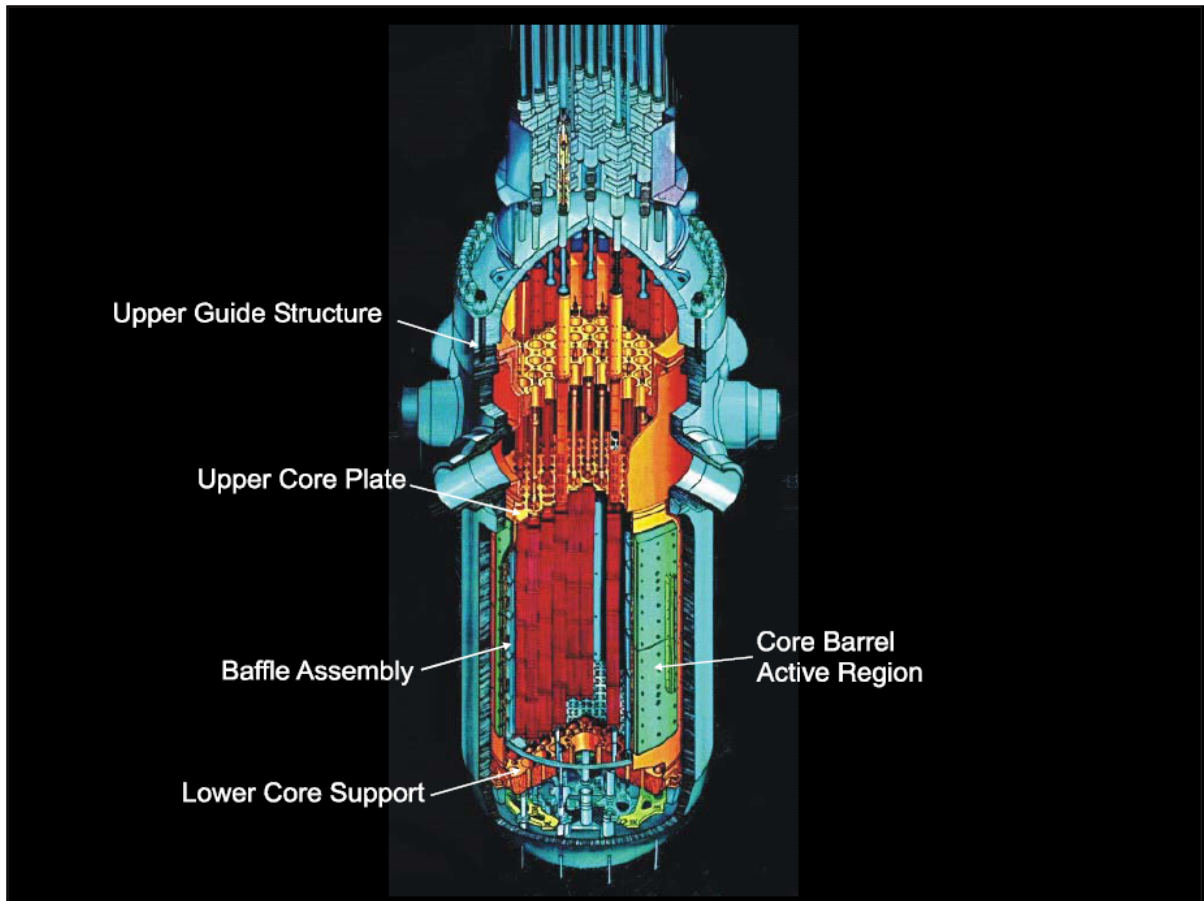


圖 4-8 CY 反應器容器和內部組件

## 工具和測試

多數的切割工作是在特別設計的切割台上進行，唯一的例外是切割爐心支撐筒上半部，需建構一個特別設計的支撐架，使爐心筒從反應器容器的法蘭支撐，如此可使整個爐心筒保持在水下進行水平切割，然後將切下來的部分移往切割台做進一步切割。碎片收集和過濾系統用來捕捉切割碎片和保持水質透明度，水下過濾系統包括旋流分離器、可逆洗過濾器、離子交換容器及碎片收集容器。爐內組件切割設備在現場部署前的測試是一種有限的整合測試，這是因為只有一個相對較小的淺池可供使用，因此所有的切割設備無法同時進行測試，經驗證明對成功的內部分割工程而言，設備做整合性的全尺寸測試是非常需要。

## 現場經驗

CY 反應器內部組件的分割工程歷時約 29 個月完成，受到 205 person-rem (2.05 Sv) 的總輻射暴露，分割工程所花的時間及暴露均超過原先的估計。分割計畫的一些重要的統計量如下：

- 1800 英尺(549 米)的金屬切割。
- 分割 600 塊裝到 64 個 FAS 筒。
- FAS 筒裝在 3 個垂直的混凝土筒(VCCs)並且移到 ISFSI 。
- 大約 650 立方英尺(18.4 立方米)(在巴恩韋爾處理)的切割碎片。
- 產生 600 立方英尺(17 立方米)過濾器和樹脂廢棄物(在巴恩韋爾處理)。

CY 在現場使用磨料水刀切割遇到了一些困難：

- 磨料進料和切割碎片傳輸軟管堵塞。

- 未能完成全長切割或切割成要求的適當尺寸，及金屬件的尺寸和原定計劃的大小不同。這導致了金屬件放置到 FAS 筒困難。因此這需要一支強硬的切割支撐桿。

- 最初使用的磨料大小不是最佳的。
- 頻繁更換切割噴嘴。

這些因素使得切割效率變差耽誤工程進度。雖然使用水下可移動式過濾器可以降低人員的操作劑量，但維修和更換設備變得非常困難。

CY 內部分割工程採用減低暴露的許多措施，這些措施包括：

- 額外的屏蔽橋區
- 經常使用高壓水沖洗
- 附加的組件屏蔽
- 建立一個低劑量的等候區

一個遠程遙控機械臂(圖 4-9)稱為“Grant Machine.”，這個裝置原本打算用於拆除和包裝圍繞在反應器腰線部分的鏡像絕緣物。該機械手在切割時從爐腔中取出設備、軟管和吸取切割碎片的這些操作是非常有用。內部分割工程在 2002 年完成。反應器壓力容器被放置在一個專門設計的一次性使用的運輸包裝，反應器壓力容器(圖 7-6)全部空隙充滿水泥漿，並且在 2003 年裝運到 Barnwell 處置場。



**Grant Machine  
Structural Assembly**



**Cavity Vacuuming  
With Grant Machine**

圖 4-9 Grant Machine 機械手臂

### 桶搬運和運送

由於產生的切割碎片比計畫預估的更多，所以使用標準的內襯裝運和許多可利用的桶(cask)。Duratek8-120 桶用於切割碎片廢棄物裝運，廢棄物包括樹脂和過濾介質。

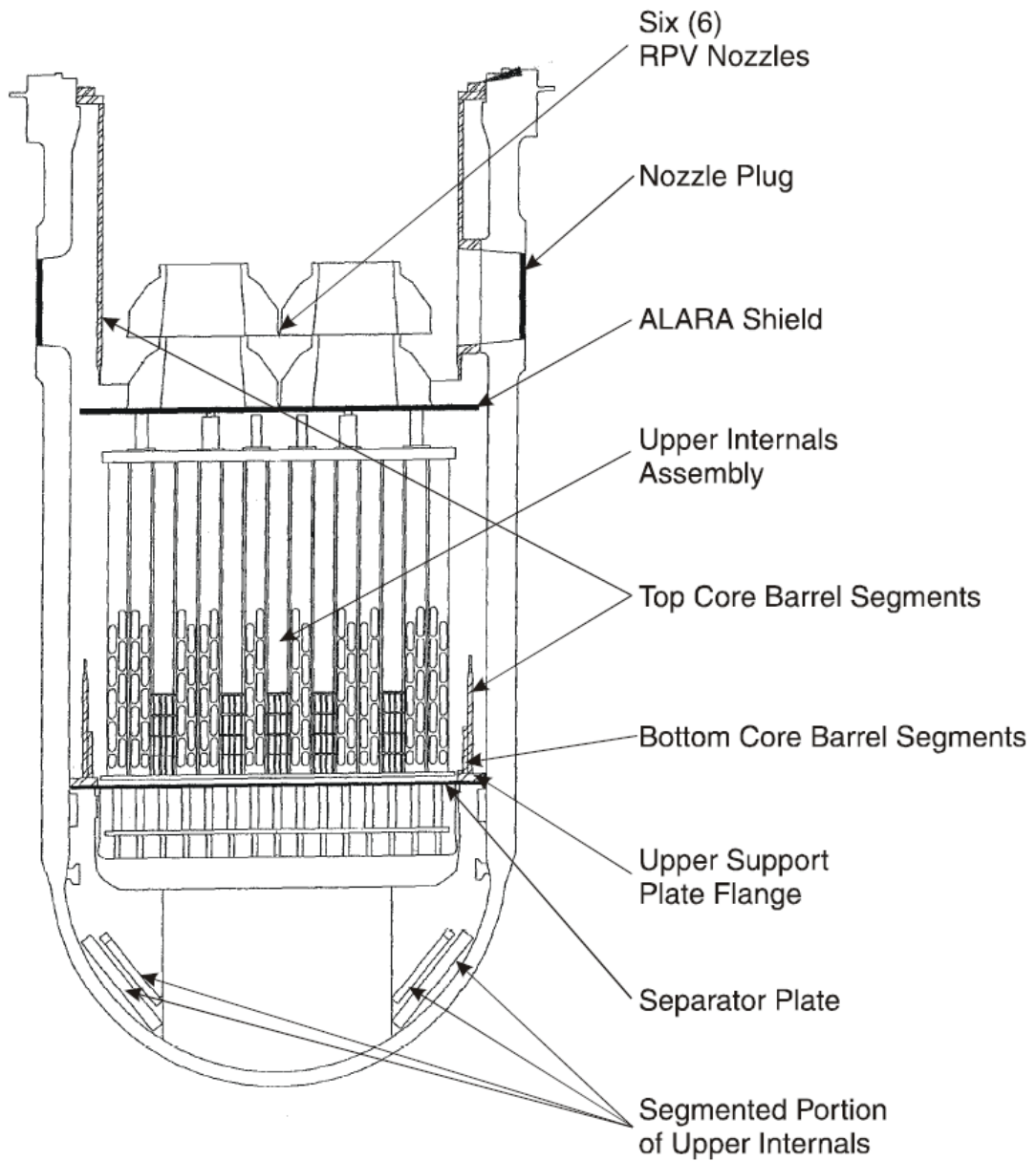


圖 4-10 最後 RPV 的配置

### 腔內清除

反應器內部組件的分割工程的切割部分完成後，需要處理腔內的清除工作。腔內的清除工作包含：

- 原來遺留在腔內被切割碎片堵塞的過濾系統需要在水下切割處置。
- 數百英尺的阻塞軟管需要清除。
- 沉積在底部大量切割碎片需要清除。
- 在水下將切割平台分割、包裝和處理。

### 借鏡

1. 因為切割費時會衍生二次廢棄物，所以應盡可能的減少切割動作。CY 切割 GTCC 材料，將它們放入類似於燃料元件大小的 FAS 筒，並將 26 個 FAS 筒放入貯存筒(canister)，貯存筒再放進一個垂直混凝土護箱(VCCs)貯存在 ISFSI。但 MaineYankee 電廠的做法是將 GTCC 材料切成較大的切片直接放進貯存筒(canister)，貯存筒再放進一個垂直混凝土護箱(VCCs)中。這種方法用的切割道數很少，產生的切割碎片也較少，因此降低處理成本。

2. 需評估碎片收集系統和切割系統設備的可靠性及維護便利性。

3. 在設備被運送到現場之前應進行一次整合性試驗，確保令人滿意的操作。在設備到現場使用被污染之前，全尺寸實體模型測試對設備的“錯誤”(bugs)是比較容易處理的。

4. 需要足夠的切割主軸剛度/穩定性以確保準確切割。

5. 將核廢棄物部門和復原計畫納入整個計畫中。

6. 在切割操作期間保持爐穴清潔。

### **圍阻體拆除**

CY 圍阻體建築物是由高強度的混凝土外表和碳鋼內襯(liner)組成的鋼筋混凝土。內部內襯被塗上氯代苯(PCB)和含鉛油漆，由於塗料的 EPA



化學分類是屬於一種有害物質，這使得拆除變的複雜。CY 圍阻體的尺寸：高 170 呎(51.8 米)，直徑 140 呎(42.7 米)，壁厚 4.5 呎(1.4 米)，圓頂厚度 2.5 呎(0.8 米)。

CY 圍阻體拆除使用專門的挖掘機裝有撞擊鎚和剪切器。拆除順序如下：

1. 水平大約 15 呎(4.6 米)的內部內襯被錘鬆，並從結構上剪切分離。
2. 第一個步驟是要移除下降 10 呎(3 米)的混凝土圓柱。混凝土是使用挖掘機耙除，剪切移除曝露的鋼筋。留下 3 個大約 6 呎(1.8 米)寬的腳支柱。
3. 使用裝有撞擊鎚的挖掘機移除腳支柱(圖 4-11,4-12)，剩下的兩個腳支柱(legs)在 2006 年 4 月 19 日被從結構外邊除去，然後整個結構下降 10 呎的距離。隨後的下降被降低至 5 呎(1.5 米) 以減少下降的力量，直到圍阻體所有結構都可被裝有撞擊鎚的挖掘機觸及為止。
4. 在第一次下降之後碎裂的材料被移除，並重複此過程。
5. 一旦建築物的圓頂部分降低到一個高度，所有結構都可被裝有撞擊鎚的挖掘機觸及時，直接由挖掘機拆除圓頂。(圍阻體拆除花費大約 3 個月完成，2-10 個 10 小時制工作班次(每周 4 天))。



圖 4-11 第一次下降前用液壓撞擊鉗移除腳支柱



圖 4-12 第一次下降前從腳支柱內側移除混凝土

### 廢棄物管理

除役工程約產生 1.59 億公斤廢棄物。包裝、運輸和處理材料的數量是佔總除役處理成本很大百分比的一項工作。用於廢棄物裝運的包件大小會影響除役的效率。CY 利用將建築物拆除的碎片先搬到大型運輸業者的暫存區，再將碎片包裝成綜合運輸商的最大包件(40,000 磅/件)(圖 4-13)。來自圍阻體內襯外側的混凝土只含有微量的放射性，這些低放廢棄物的運輸是經過轉運，最初是從 CY 用卡車運到 Alaron facility(賓州)再以鐵路運輸至 EnergySolutions (4,170 公里)，然而廢棄物產出量及速度遠超過包裝及運輸負荷，所以採取替代路線，從 CY 用卡車運輸到 Worcester(馬薩諸塞 )

再以鐵路運輸至 EnergySolutions，因為 Worcester 設施並沒有 NRC 授權，至少須每週進行調查，以確認沒有檢測到放射性核種。這期間在 Worcester 或 New Haven 設施或用來運送這廢棄物的卡車上沒有檢測到放射性污染物。



圖 4-13 綜合運輸商的包件

#### 4.8 廠址關閉議題

##### 借鏡/建議

- 廠址出現污染的地下水，會使劑量建模及達到廠址外釋標準的承諾複雜化。
- 雖然執行廠址特殊劑量建模可以產生導出的濃度指引水平(Derived Concentration Guideline Levels (DCGLs 或濃度限值))，但在許多情況下劑量建模的 DCGLs 均高於 NRC 公佈的通用導出的濃度指引水平。

• 在符合廠址外釋標準情況下，更真實的地下室填充劑量模型情境可以顯著降低整治數量。

• 早期廠址特性值的另一個例子，是預期將來的廠址特性達到法規要求。這樣的預期允許列入所有劑量建模場景和最終狀態調查(FSS)的設計，以盡量減少這些地區的主管機關法規要求的多次循環。

### 執照終止計畫議題

CY 在 2000 年提交 LTP 時，還沒有完全確定地下水污染的水準或在整治之後預估的濃度。為了估算 3 種媒介的輻射劑量分佈，允許彈性制定整治的濃度目標，建立使用在 FSS 土壤區域的遵從方程式：

$$\text{Dose Total} = \text{Dose Soil} + \text{Dose Existing Groundwater} + \text{Dose Future Groundwater}$$

總輻射劑量：關鍵的群組的平均成員結合的 TEDE 劑量，來自所有路徑的背景劑量殘餘的放射性。

劑量土壤：來自所有相關的土壤路徑貢獻的劑量。

現有的地下水劑量：劑量從所有途徑的部分，來自目前在現場的地下水殘餘的放射性。

未來的地下水劑量：所有路徑來自混凝土碎片殘餘放射性的滲入地下水的劑量。

為了滿足這個方程式，使用下列方法論：

1. 各介質相對應的 DCGLs 是 25 mrem/yr(0.25 mSv/yr) 。
2. 確保符合康乃狄克州的財產移轉限制，總劑量需要被降低到 19 mrem/yr(0.19 mSv/yr) 。
3. 為每種媒介設定劑量目標，藉由瓜分 19 mrem/yr(0.19 mSv/yr) 的總額。

2006 年 7 月收集足夠的整治後地下水和混凝土的樣本數據，訂定了現有地下水的劑量目標是 2 mrem/yr (0.02 mSv/yr)、混凝土媒介的預估劑量是 1.6 mrem/yr(0.16 mSv/yr)、未來地下水的目標劑量(由於污染的混凝土)是 2 mrem/yr(0.02 mSv/yr)、土壤的劑量目標是 15 mrem/yr (0.15 mSv/yr)。

### 劑量評估模型-土壤

為了確定導出的濃度指引水平，使用 Argonne 國家實驗室開發的殘餘放射性的劑量計算模型 RESRAD。先用 RESRAD version 6.1(機率的版本)進行參數敏感性分析，再以 NRC 指引的參數範圍的保守值輸入 RESRAD version 5.91(決定性的版本)得到 DCGLs。表格 4-4 列出 CY 土壤 DCGLs 的基本案例(25 mrem/yr) (0.25 mSv/yr)。

表 4-4 土壤基本案例 DCGLs

| Radionuclide | Soil DCGL (pCi/g)     |
|--------------|-----------------------|
| H-3          | 4.12E+02 (15.2 Bq/g)  |
| C-14         | 5.66E+00 (0.21 Bq/g)  |
| Mn-54        | 1.74E+01 (0.64 Bq/g)  |
| Fe-55        | 2.74E+04 (1,014 Bq/g) |
| Co-60        | 3.81E+00 (0.14 Bq/g)  |
| Ni-63        | 7.23E+02 (26.8 Bq/g)  |
| Sr-90        | 1.55E+00 (0.06 Bq/g)  |
| Nb-94        | 7.12E+00 (0.26 Bq/g)  |
| Tc-99        | 1.26E+01 (0.47 Bq/g)  |
| Ag-108m      | 7.14E+00 (0.26 Bq/g)  |
| Cs-134       | 4.67E+00 (0.17 Bq/g)  |
| Cs-137       | 7.91E+00 (0.29 Bq/g)  |
| Eu-152       | 1.01E+01 (0.37 Bq/g)  |
| Eu-154       | 9.29E+00 (0.34 Bq/g)  |
| Eu-155       | 3.92E+02 (14.5 Bq/g)  |
| Pu-238       | 2.96E+01 (1.10 Bq/g)  |
| Pu-239       | 2.67E+01 (0.99 Bq/g)  |
| Pu-241       | 8.70E+02 (32.2 Bq/g)  |
| Am-241       | 2.58E+01 (0.95 Bq/g)  |
| Cm-243       | 2.90E+01 (1.07 Bq/g)  |

### 劑量評估模型-地下水

上述所得到土壤 DCGLs 是假設沒有預先存在地下水污染。為了解釋在執照終止時出現的地下水污染，先確定單獨的現有地下水 DCGLs。導出的濃度指引水平，使用 Argonne 國家實驗室開發的殘餘放射性的劑量計算模型 RESRAD 計算，對 CY 地下水污染關注的 20 個放射性核種設定預選值。

假設地下水濃度 10 pCi/Liter 是從所有途徑得到的劑量，縮放預選值重新計算，以確定濃度相當於 25 mrem/年。計算得到的劑量符合執照終

止要求，再利用地下水監測井採樣的結果做比較，以確定是否符合地下水 DCGLs。表格 4-5 列出 CY 基本情況的地下水 DCGLs (25 mrem/yr)。

表 4-5 地下水基本情況 DCGLs

| <b>Radionuclide</b> | <b>Groundwater DCGL (pCi/l)</b> |
|---------------------|---------------------------------|
| H-3                 | 6.52E+05 (2.4E+04 Bq/L)         |
| C-14                | 9.01E+03 (3.3E+02 Bq/L)         |
| Mn-54               | 2.42E+04 (9.0E+02 Bq/L)         |
| Fe-55               | 6.54E+04 (2.4E+03 Bq/L)         |
| Co-60               | 1.14E+03 (4.2E+01 Bq/L)         |
| Ni-63               | 3.15E+04 (1.2E+03 Bq/L)         |
| Sr-90               | 2.51E+02 (9.3E+00 Bq/L)         |
| Nb-94               | 6.75E+03 (2.5E+02 Bq/L)         |
| Tc-99               | 2.64E+04 (9.8E+02 Bq/L)         |
| Ag-108m             | 4.24E+03 (1.57E+04 Bq/L)        |
| Cs-134              | 3.42E+02 (1.3E+01 Bq/L)         |
| Cs-137              | 4.31E+02 (1.6E+01 Bq/L)         |
| Eu-152              | 7.33E+03 (2.1E+02 Bq/L)         |
| Eu-154              | 5.05E+03 (1.9E+02 Bq/L)         |
| Eu-155              | 3.25E+04 (1.2E+03 Bq/L)         |
| Pu-238              | 1.51E+01 (5.6E-01 Bq/L)         |
| Pu-239              | 1.36E+01 (5.0E-01 Bq/L)         |
| Pu-241              | 4.60E+02 (1.7E+01 Bq/L)         |
| Am-241              | 1.32E+01 (5.0E-01 Bq/L)         |
| Cm-243              | 1.94E+01 (7.2E-01 Bq/L)         |

劑量評估模型-混凝土



CY 用三種不同劑量模型方法計算混凝土的 DCGLs：

這些模型將在以下內容裡描述：

### 建築物佔用情境

這種情境假設建築物從執照釋出之後被用作辦公室。計算 DCGLs 是採用 Argonne 國家實驗室開發的劑量模型稱為 RESRAD-Build。同樣的過程使用概率性模型版本(版本 3.1)和確定性模型版本(版本 2.37)。表 4-6 列出了 25 mrem/年的 CY 建築物佔用 DCGLs。

表 4-6 基本情況建築物表面 DCGLs (建築物佔用的情境)

| Radionuclide | DCGL for Surface Sources<br>(dpm/100 cm <sup>2</sup> ) | DCGL for Volumetric Sources<br>(pCi/g) |
|--------------|--|--|
| H-3          | 3.15E+08   | 1.47E+03 (5.4E+01 Bq/g)                |
| C-14         | 1.03E+07   | 1.18E+08 (4.4E+06 Bq/g)                |
| Mn-54        | 3.21E+04   | 9.06E+00 (3.3E-01 Bq/g)                |
| Fe-55        | 3.49E+07   | 9.54E+07 (3.5E+06 Bq/g)                |
| Co-60        | 1.11E+04   | 2.90E+00 (1.1E-01 Bq/g)                |
| Ni-63        | 3.60E+07   | 4.11E+07 (1.5E+06 Bq/g)                |
| Sr-90        | 1.27E+05   | 2.38E+03 (8.8E+01 Bq/g)                |
| Nb-94        | 1.71E+04   | 4.83E+00 (1.8E-01 Bq/g)                |
| Tc-99        | 1.45E+07   | 3.09E+07 (1.1E+06 Bq/g)                |
| Ag-108m      | 1.65E+04   | 4.84E+00 (1.8E-01 Bq/g)                |
| Cs-134       | 1.65E+04   | 4.93E+00 (1.8E-01 Bq/g)                |
| Cs-137       | 4.30E+04   | 1.37E+01 (5.1E-01 Bq/g)                |
| Eu-152       | 2.34E+04   | 6.70E+00 (2.5E-01 Bq/g)                |
| Eu-154       | 2.19E+04   | 6.11E+00 (2.3E-01 Bq/g)                |
| Eu-155       | 4.37E+05   | 3.23E+02 (1.2E+01 Bq/g)                |
| Pu-238       | 4.87E+03   | 6.61E+02 (2.4E+01 Bq/g)                |
| Pu-239       | 4.44E+03   | 6.02E+02 (2.2E+01 Bq/g)                |
| Pu-241       | 2.29E+05   | 3.12E+04 (1.2E+03 Bq/g)                |
| Am-241       | 4.27E+03   | 4.16E+02 (1.5E+01 Bq/g)                |
| Cm-243       | 6.07E+03   | 7.53E+01 (2.8E+00 Bq/g)                |

## 混凝土碎片情境

在除役的早期階段，CY 計劃證明在現場地上的混凝土是可釋出，然後將拆除混凝土運送到他們的地下室和並覆蓋符合現場釋出標準的材料碎片。為了證明這樣做是符合關閉後的外釋限制，除了上面討論的建築物佔用案例，CY 進行了第二次模型計算來模擬混凝土碎片的情境。在這種模式的情況下，混凝土碎片是呈現類似土壤的顆粒狀，並用“RESRAD 模型計算 DCGLs。一旦決定了混凝土碎片的 DCGLs，由此產生的活性也適用於拆毀之前的混凝土結構表面。這些混凝土結構表面的濃度然後與那些建築物佔用情境的濃度作比較並取最保守的值。表 4-7 列出了 25 mrem/yr (0.25 mSv/yr)CY 填埋碎片 DCGLs。

表 4-7 建築物拆除基本情況 DCGLs (混凝土碎片)

| Radionuclide | Concrete Debris DCGLs (pCi/g) |
|--------------|-------------------------------|
| H-3          | 9.05E+01 (3.3E+00 Bq/g)       |
| C-14         | 2.05E+01 (7.6E-01 Bq/g)       |
| Mn-54        | 5.51E+01 (2.0E+00 Bq/g)       |
| Fe-55        | 8.96E+01 (3.3E+00 Bq/g)       |
| Co-60        | 9.07E+01 (3.4E+00 Bq/g)       |
| Ni-63        | 1.29E+02 (4.8E+00 Bq/g)       |
| Sr-90        | 3.77E-01 (1.4E-02 Bq/g)       |
| Nb-94        | 7.74E+00 (2.86E-01 Bq/g)      |
| Tc-99        | 2.85E+01 (1.1E+00 Bq/g)       |
| Ag-108m      | 2.59E+01 (9.6E-01 Bq/g)       |
| Cs-134       | 3.21E+02 (1.2E+01 Bq/g)       |
| Cs-137       | 6.45E+02 (2.4E+01 Bq/g)       |
| Eu-152       | 2.27E+02 (8.4E+00 Bq/g)       |
| Eu-154       | 1.94E+02 (7.2E+00 Bq/g)       |
| Eu-155       | 9.53E+03 (3.5E+02 Bq/g)       |
| Pu-238       | 1.14E+01 (4.2E-01 Bq/g)       |
| Pu-239       | 1.00E+01 (3.7E-01 Bq/g)       |
| Pu-241       | 1.49E+02 (5.5E+00 Bq/g)       |
| Am-241       | 4.42E+00 (1.6E-01 Bq/g)       |
| Cm-243       | 3.83E+00 (1.4E-01 Bq/g)       |

### 地下室填充模型

2004 年決定將所有的地上混凝土以清潔或放射性廢物處理。這一決定使得混凝土碎片的情境已不再適用。在相同的時間內，Maine Yankee 核電廠除役工程的地下室填充模型情境已獲得批准。在這個模型裡留在現場的地下室結構是無法進入。混凝土中的放射性物質是假設從混凝土釋出，經由地下水的流動產生地下水污染。CY 的地下室填充模型參照

Maine Yankee 地下室填充模型情境使用大致相同的方法。CY 方法與 MY 做法有一些不同如下：

1. 雖然有鋼襯留 CY In-Core Instrumentation (ICI)的水池，但是沒法確認水池可以做為放射性核種的浸出屏障的劑量模型。

2. 為了確保無法進入 ICI 水池，水池區域充滿了水泥漿，及覆蓋至少 3 英尺活化的混凝土。

一般情況下的地下室填充模型如下：

- 混凝土中的放射性庫存是假設以保守值的速率從混凝土表面化解。
- 在圍阻體和燃料池的低等級混凝土是假設釋放到圍阻體內地下室。
- 圍阻體地下室的放射性庫存是假設與地下水和工程回填土壤混合，產生地下水濃度的計算。
- 地下水濃度與 LTP DCGLs 地下水濃度進行比較(表格 8-2)以決定未來地下水的劑量。
- 在放射性控制區(RCA)任何留在現場的混凝土的放射性含量是包括在圍阻體地下室填充模型的計算內。
- 單獨計算排放渠道放射性的濃度。因為排放渠道不會被回填，計算時假設只有水存在。

### 其他劑量建模

在廠址關閉之後對於埋在現場的管路，這些管材假設被灌漿並假設及時腐蝕，管道內表面的污染假設混合在水泥漿內部，如果從這個管道收到的劑量沒有超過 1 mrem/yr(0/01 的 mSv/yr)，則這個劑量是可忽略的。使

用表 8-4 中的混凝土碎片濃度計算限值，確定單位長度管道的放射性允許量，然後將放射性允許量應用於管道內表面，以確定一個允許的表面濃度。

### **CY FSAR 的執照條件**

CYAPCO 提交執照終止計畫給 NRC，作為更新最終安全分析報告的補充。NRC 後來透過執照修訂批准執照終止計畫。這執照修改也增加了執照的條件，它提供標準防止變更執照終止計劃的評估決定，如果事先 NRC 的批准是需要的以及在 10CFR50.59 和 10 CFR50.82 (a)(6) 和 (a)(7) [11-6] 指定的標準。如果變更涉及下面列出的執照條件，LTP 的變更在執行之前需要得到 NRC 批准：

- a. 增加特定放射性核種得到濃度指引水準或者面積係數；
- b. 增加犯第一類型判定錯誤(高於 LTP 的水準)的機率；
- c. 對已給定的調查單元分類，增加調查水準的臨界值；
- d. 調查單位分類從更嚴格的分類變為限制較少的分類

(如結構/表面的土壤調查單位從 1 級到 2 級，或地下調查單位從 A 級到 B 級)；

- e. 減少掃描測量的覆蓋範圍要求或

- f. 涉及根據統計檢定的信賴性。除了 Wilcoxon Rank Sum 或數據評估 Sign Test。

### **最後狀態調查的議題**

最後狀態調查的進行遇到某些挑戰。下面介紹一些細節：

#### 地下土壤

上面討論的土壤 DCGLs 制定是假設污染是均勻的通過深入地下 3 米。NRC 批准執照終止計畫，配合劑量建模情境執行地下取樣化驗。

取 1 米長土樣核心(core)，每個核心樣品分析放射性核種，前三個採樣深度的結果取平均值，並與土壤的 DCGLs 相比，以確定核心樣品的放射性核種濃度是否符合土壤 DCGLs。另外地下 FSS 的取樣密度也需要制定，NRC 批准一個評分方法，在調查密度最高的地方是地面下污染最有潛力的地區。所以放射性控制區域的調查被歸類為 A 類，而周圍的工業區被列為 B 級或 C 級(表 4-8)。

表 4-8 地下採樣密度

| Subsurface Classification of Survey Unit | Potential for Subsurface Contamination | Number of Samples Per Survey Unit   |
|--|--|-------------------------------------|
| A  | High                                   | 31 (1 per each 500 m <sup>2</sup> ) |
| B  | Medium                                 | 25                                  |
| C  | Low                                    | 15                                  |

### 排放運河

對沉積物進行採樣，分析放射性的濃度使其滿足土壤 DCGLs，由於排放運河河床底部是碎石(rip-rap)構造，其中有一些相當大的石頭，取樣是在岩石空隙內採樣沉積物，採樣的沉積物檢測到的放射性物質主要是鈷 60。採樣過程中使用可攜式伽瑪能譜系統 (Canberra trade name ISOCS)偵測岩石的放射性核種濃度。使用一台挖掘機，將岩石從運河底部撈起，岩石取出之前在運河水中浸泡洗出沉積物，最後再用消防水帶沖洗，岩石被裝入一個大型自卸車，車上懸掛 ISOCS 系統定位。ISOCS 的軟體被配置為使用卡車的幾何建模。符合 ISOCS 分析結果的限值後，在岩石貯存用作回填材料之前進一步掃描熱點。運河底部的碎石清除後，自運河全長做沉積物取樣，沉積物的放射性核種濃度超過土壤 DCGLs 的地區要做整治，整治到沉積物滿足土壤 DCGLs 為止。

## 現場填埋

CY 在現場有許可的填埋場(landfill)可以處置拆除的混凝土碎片，為了證明填埋場符合廠址關閉外釋標準，進行大規模的調查活動，這活動有以下主要的步驟：

1. 在設施內的土壤已知超過外釋標準的施以整治，並視為放射性廢棄物處置。整治後採樣分析以確認整治完成。
2. 在大規模篩選過程中使用挖掘機和工業用螢幕進行採樣分析。
3. 為了確保符合資源保護和恢復法(RCRA)對石油相關成分的要求，篩選的土壤樣品需實施去除瀝青處理。
4. 完成上述過程和填埋區分類後，地面及地下的最終狀態調查與取樣分析一起進行，確認該地區符合 RCRA 計劃的外釋限制。

## **4.9 地下水的整治**

### 借鏡/建議

- 在電廠運轉過程應進行地下水污染的特性調查，評估是否應採取措施，以減少設施的洩漏和溢出的影響。
- 對於已受污染的地下水現場，範圍及持續時間將擴大污染範圍，使得地下水監測計劃的成本升高。
- 設施洩漏和廢棄物運輸處理及地下水污染的整治，這些處置的成本高達 35 百萬美元。因地下水污染衍生額外土壤的整治成本超過 15 百萬美元。

### 初始地下水特性

在廠區被懷疑是地下水污染的地區確定後，CY 與 CT DEP 合作起動第 1 階段地下水監控計劃，在懷疑的地區設置監測井，監測井分佈於電廠的 3 個地區：

1. 電廠的反應器圍阻體和主要輔助建築物。
2. 半島地區(位於排放運河和康乃狄克河之間)。
3. 填埋區(landfill area)。

取地下水樣本進行分析氚(tritium)、 $\gamma$ 放射性同位素、總 $\alpha$ 及總 $\beta$ 濃度，結果發現氚滲透移動速度最快。圖 4-14 顯示在電廠工業區的水井位置。

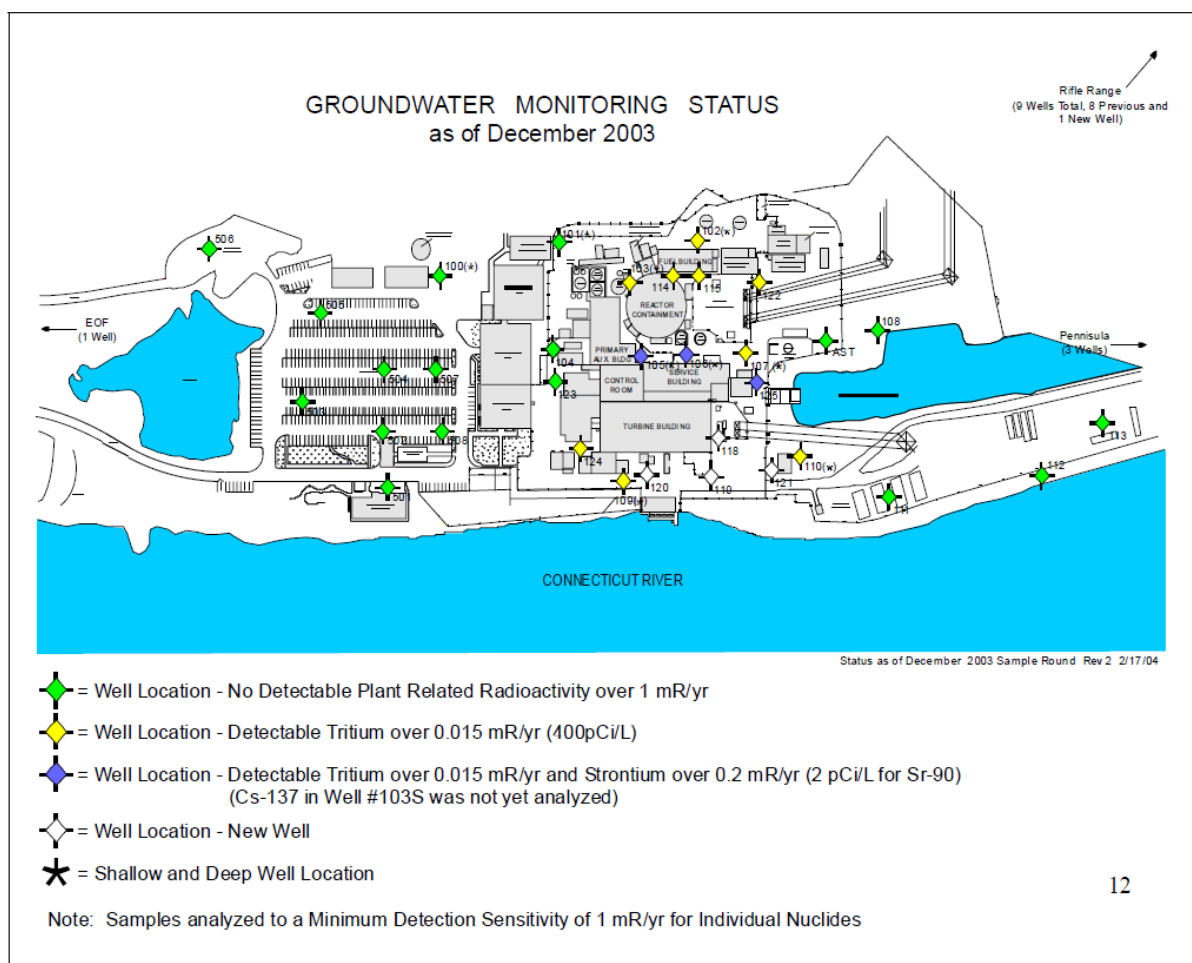


圖 4-14 2003 年 12 月地下水監測狀態

圖 4-15 顯示了在大規模的土壤整治前的氚趨勢。由此可以看出，在最初的幾個採樣週期氚迅速下降。到 2000 年 1 月，大多數監測井的氚已



下降到接近或低於 EPA MCL(EPA Maximum Contaminant Levels MCL)(已知為飲用水標準) 濃度值 20000 PCI/ L (740 貝克/升)。

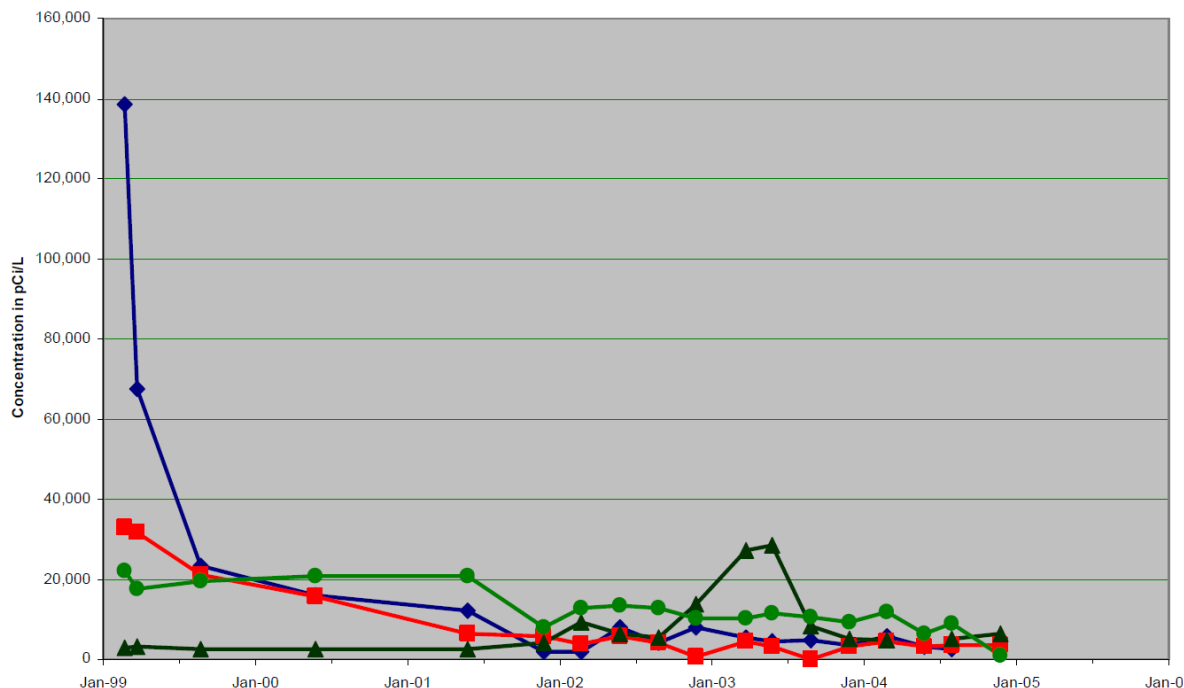


圖 4-15 整治前氚趨勢

### CY 水文地質監測計劃第 2 階段

在最初特性資料收集之後，制定了更精細的地下水監測計劃，CY 再次與 CT DEP 合作，CT 提出 20 種放射性核種的清單，2001 年 6 月開始進行地下水取樣分析，確認這些放射性核種是否存在於地下水中，取樣分析的結果顯示在某些監測井及桶槽區的通過水壓向下坡度(hydraulically downgradient)的區域內放射性核種鋇-90(Sr-90)濃度較大，H-3 的濃度與以往的採樣結果一致，一個更詳細的分析認為 SR-90 地下水濃度的增高與地下水位高度是相關的。由於冬雪在春季時期融化使地下水位上升，污染的土壤與地下水接觸造成 Sr-90 溶出進入地下水中。這種接觸會導致

SR-90 從土壤中溶出。溶出的 Sr-90 通過地下水的流動移動到監測井，在受污染的土壤監測井的向下坡度區域的取樣中被檢測出來。圖 9-3 最左邊的濃度大量減少，這表示廠區的地下水是處在排水的狀態，地下水污染來源的土壤已脫離地下水位沒有相互接觸，結果土壤中的 SR-90 沒有再繼續溶出，因此地下水中的 SR-90 濃度迅速下降。水井抽樣結果的 SR-90 在整治之前的最高濃度位於圖 4-16 所示。

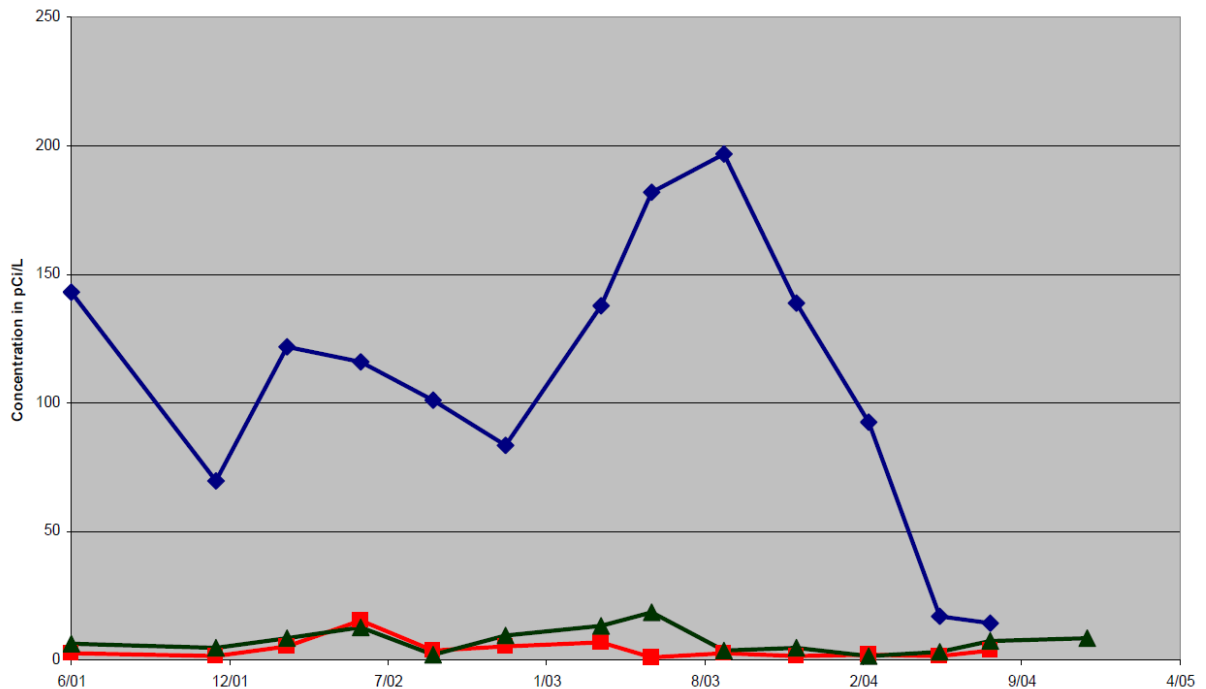


圖 4-16 整治前銻 90 趨勢

### 土壤特性

為了證明這一理論，實施大規模的土壤調查，調查區域約有 200 個採樣的地點，主要是在桶槽區和液壓下降梯度的區域，選擇 1000 個樣本分析。電廠其他地區的土壤也進行分析，某些建築物下的土壤取樣是使用鑽孔機將地板鑽穿取樣。調查的結果，放射性核種濃度最高的地方是在桶槽

區下方。在桶槽區下方的土壤中，不只鈾 90 的濃度高，其他最關注的放射性核種的濃度也是很顯著的。

最高濃度的 SR-90 污染的地點是在地下水中發現，而在這個地點上方土壤中的 SR-90 濃度明顯低於那些在桶槽區土壤中的 SR-90 濃度，這個訊息支持上面所說的鈾 90 運動理論。

## 土壤整治

### PAB 挖掘

為了符合 CY LTP 的承諾，當地下水污染源整治之後需要實施地下水監測，監測期間至少 18 個月(包括兩高水位春季期間)。進行監測之前首先要消除污染源，進行土壤整治以符合美國康乃狄克州的 RSRs 法規，然而要滿足 LTP DCGLs 的要求這還需要額外的土壤移除，圖 4-18 所示需要移除的土壤是相當集中於工業區域。

外面桶槽區的結構拆除是在一個專門建造的大帳篷內在負壓條件下拆除，這防止任何放射性物質釋放到環境中，同時在另一端的主輔助建築物(PAB)也開始開挖，這個開挖被稱為 PAB 挖掘(圖 4-17)，由於大部分內外圍土壤均超過 DCGLs 或地下水的篩選標準，基本上所有的土壤都要移除。



圖 4-17 從西側的 PAB 挖掘

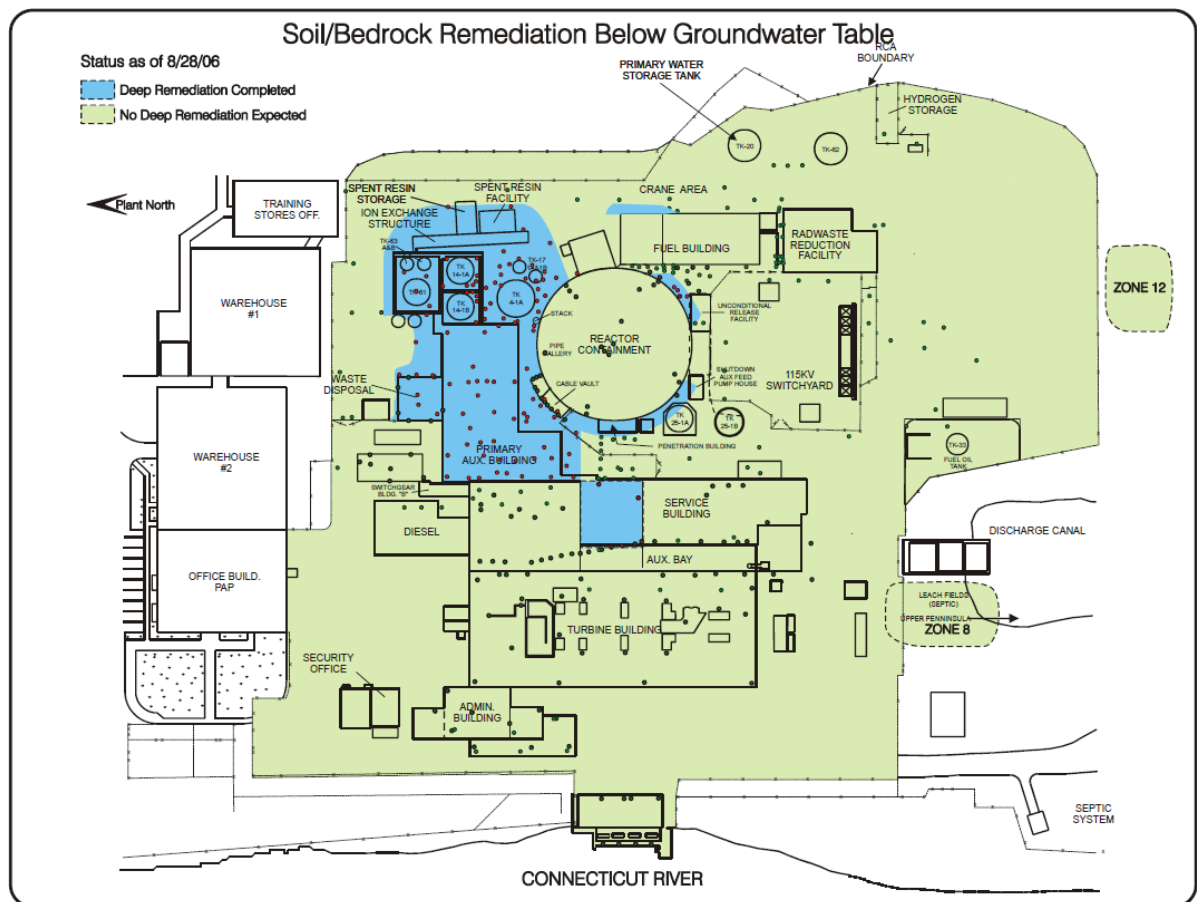


圖 4-18 地下水位以下的土壤/基岩整治區

### PAB 挖掘的桶槽區部分

最東邊三分之一的 PAB 開挖整治比較困難。因為在爆破建築物過程中使這一區域的岩床出現許多斷裂，由於大部分地下水的滲漏事件發生在這個區域的土壤，當土壤阻礙從洩漏地區離開的放射性核種的運動時，這個區域檢測到的放射性核種的濃度將會很高。

在這一區域的 PAB 開挖，土壤從下方桶槽區區域以真空吸取之後，檢測基岩裂縫中的放射性仍高達 40 mrem/小時 (0.4 毫西弗/小時)。用 “Hoe-Ram 挖掘機將岩石中的 “熱點” 打破移除，且當作放射性廢棄物

處置。新暴露的裂縫放射性仍然高至 1 mrem/小時（0.01 毫希/小時）。於是決定對這一區域岩床進行全面調查。全面調查的結果是一個 25 英尺平方深達 16 英尺的岩床區域的土壤需要被移除，以確保地下水不受岩床裂縫中的放射性影響。此岩床區域的整治採用爆破的工法，爆破執行後再調查此區域的放射性。該調查的結果預計地下水濃度將遠低於所有的外釋標準。

### 地下水滲出

西邊的 PAB 開挖調查，發現在該處有地下水滲漏。雖然這地下水濃度遠低於 MCL，但滲漏出的 Sr-90 的濃度卻為 MCL 的 2~3 倍。這表示有另外的污染源將污染物滲漏到開挖區。由於當時正在開展的 PAB 挖掘區是在極端降水狀態，開挖區底部是在康乃狄克河的水平面以下。因此，地下水流向其正常的相反方向（即從河道朝向開挖區）。因此確定鄰近區域排放渠道是最可能滲漏的來源。此訊息顯示土壤的放射性濃度在相對較低的濃度可能會導致地下水濃度超過 MCLS。為了解決這個潛在的問題，額外的土壤特性調查開始對尚未進行取樣的地區及被懷疑次表層污染的地區進行土壤取樣。結果 12 個區域需要進行土壤取樣，取樣使用 GeoProbe 取樣機。

### 其他土壤整治

由區域採樣檢測的資料，確定需要整治的地區，並根據預測的地下水濃度值進行土壤整治。這些區域採樣檢測的資料與表 4-3 所述的限值比較，兩者的差異值即需要整治的部分。表 4-9 顯示 HNP 整治區域的位置，是以開挖編號列出。此外，表 4-9 也列出了挖掘量的大小和推動

整治的法規標準。圖 4-18 顯示所有的土壤和床岩的整治區域是低於地下水水位。

表 4-9 HNP 土壤整治區域

| Excavation Number              | Volume Removed   | Subsurface Soil Location                     | Contamination Mechanism   | Level of Contamination/ Standard Exceeded               |
|--------------------------------|--|--|---|---|
| 1 - North & East Portion       | 700,000 ft <sup>3</sup><br>(19,800 m <sup>3</sup> )        | Under Outside Tank Farm and Auxiliary Build. | Leakage of Outside Tanks and Through Floor of Aux. Bldg.              | Above both DCGLs and Groundwater Screening Levels (MCL) |
| 1 - Southwest Portion          | 300,000 ft <sup>3</sup><br>(8,500 m <sup>3</sup> )         | Between Aux Bldg and Containment             | Conveyed by Groundwater(GW) from the Tank Farm                        | Below DGCLs but above Groundwater Screening Levels      |
| 2                              | 10,000 ft <sup>3</sup><br>(283 m <sup>3</sup> )            | East Side of Discharge Tunnels               | Conveyed by Groundwater from the Tank Farm                            | Below DGCLs but above Groundwater Screening Levels      |
| 3                              | 50,000 ft <sup>3</sup><br>(1,420 m <sup>3</sup> )          | Between Fuel Building and Containment        | Surface spill and conveyed by GW from Fuel Building Equipment Leakage | Above both DGCLs and Groundwater Screening Levels       |
| 4                              | 4,000 ft <sup>3</sup><br>(113 m <sup>3</sup> )             | Under former Control Building                | Leakage of Service Water Line   | Below DGCLs but above Groundwater Screening Levels      |
| 5                              | 2,000 ft <sup>3</sup><br>(57 m <sup>3</sup> )              | East Side of Fuel Building                   | Source Indeterminate  | Above DGCLs & GW Screening Levels                       |
| 6                              | 85,000 ft <sup>3</sup><br>(2,410 m <sup>3</sup> )          | West Side of Containment                     | Conveyed by Groundwater(GW) from the Tank Farm                        | Below DGCLs but above Groundwater Screening Levels      |
| 7                              | 2,000 ft <sup>3</sup><br>(57 m <sup>3</sup> )              | End of Storm Drain South of Industrial Area  | Spill of radioactive liquid into storm drain in 1989                  | Above both DGCLs and Groundwater Screening Levels       |
| 8                              | 13,000 ft <sup>3</sup><br>(368 m <sup>3</sup> )            | Under Soil Stockpile Area                    | Conveyed by Surface runoff from RCA                                   | Below DGCLs but above Groundwater Screening Levels      |
| <b>Total Volume Remediated</b> | <b>1,166,000 ft<sup>3</sup><br/>(33,000 m<sup>3</sup>)</b> | <b>Total MCL Driven Volume</b>               | <b>412,000 ft<sup>3</sup><br/>(11,700 m<sup>3</sup>)</b>              |   |

表 4-9 顯示移除的土壤總量是 1.17 百萬立方英尺(33,000 立方米)，這些土壤被視為放射性廢棄物處理。由於設施的洩漏和溢出，造成地下

水污染到 CY 工業區的其他地區，在表 9-1 最下一排的整治量表示，要滿足廠址外釋的 MCLs，需要額外移除的部分土壤總量是 412,000 立方英尺（11,700 立方米）。

## 長期地下水監控

### 18 個月地下水監控週期

對於 CY LTP 描述的 18 個月地下水監測期間開始的先決條件是：

- 對需要充分監測的井網(well network)其污染運動的結局(fate)和運輸模型已經確定；
- 由結局(fate)和運輸建模所確定的任何新井已安置完成；
- 現場整治完成，區域回填和終止排水；
- 在監測啟動時地下水已補給到正常水平。

所有這些先決條件都滿足後，2005 年 12 月建立地下水監測計劃並發送給 NRC 審查，在這個月進行第一輪的 LTP 遵守抽樣。若以下的項目達成時即表示符合 LTP 的承諾：

- 至少每季進行取樣至少 18 個月以上
- 監測期間需要包括兩個春季的高水位期
- 抽樣結果必須是趨勢向下或穩定的
- 抽樣結果的最高劑量，必須 $\leq$ CY LTP 遵從方程式所允許的劑量。

在 2005 年 12 月開始監測，最後一輪取樣將發生在 2007 年 6 月，2006 年 3 月和 2007 年是地下水位的兩個高水位期。

使用 CY LTP 地下水 DCGLs，表 4-10 顯示容許的地下水放射性核種的濃度及顯示最高濃度水平 MCLs，表 4-10 還列出 2006 年 6 月 CY 監測井抽樣的最高濃度，在完成影響地下水的重大整治之後，這些



取樣已進行了6個月，自2005年12月起地下水的最高濃度已呈下降趨勢。最高濃度低於MCLS也遠低於地下水的劑量目標2 mrem/年（0.02毫希/年）。圖4-19和圖4-20是包括整治後抽樣結果的氚和SR-90的趨勢圖。預計監測井檢測到的地下水的濃度會比LTP目標值低得多，並持續低於CT DEP的MCL和EPA/NRC的諒解備忘錄(MOU)所要求的限值。

表 4-10 地下水外釋限值與取樣數據的比較

| Key Radionuclide | Groundwater Concentration at 2 mrem/yr Target Dose (Using CY LTP) | State of CT RSRs and EPA/NRC MOU (MCLs) | TEDE Dose at MCL Concentrations (Using CY LTP DCGLs) | Highest Groundwater Concentrations – June 2006 | Highest Groundwater Concentrations as a % of Most Stringent Limits |
|------------------|---|---|--|--|--|
| H-3              | 52,160 pCi/L (1,930 Bq/L)   | 20,000 pCi/L (740 Bq/L)                 | 0.77 mrem/yr (0.007 mSv/yr)                          | 17,300 pCi/L (640 Bq/L)                        | 88 %   |
| Sr-90            | 20.1 pCi/L (0.74 Bq/L)  | 8 pCi/L (0.3 Bq/L)                      | 0.8 mrem/yr (0.008 mSv/Yr)                           | 5.4 pCi/L (0.2 Bq/L)                           | 75 %   |
| Cs-137           | 34.5 pCi/L (1.3 Bq/L)   | 200 pCi/L (7.4 Bq/L)                    | 11.6 mrem/yr (0.116 mSv/yr)                          | 9.1 pCi/L (0.34 Bq/L)                          | 26 %   |

\* Highest concentrations occurred in different wells. No “sum of the fractions” for any well exceeded the limit of “1” for the 2 mrem/yr (0.02 mSv/yr) dose or the MCL calculation.

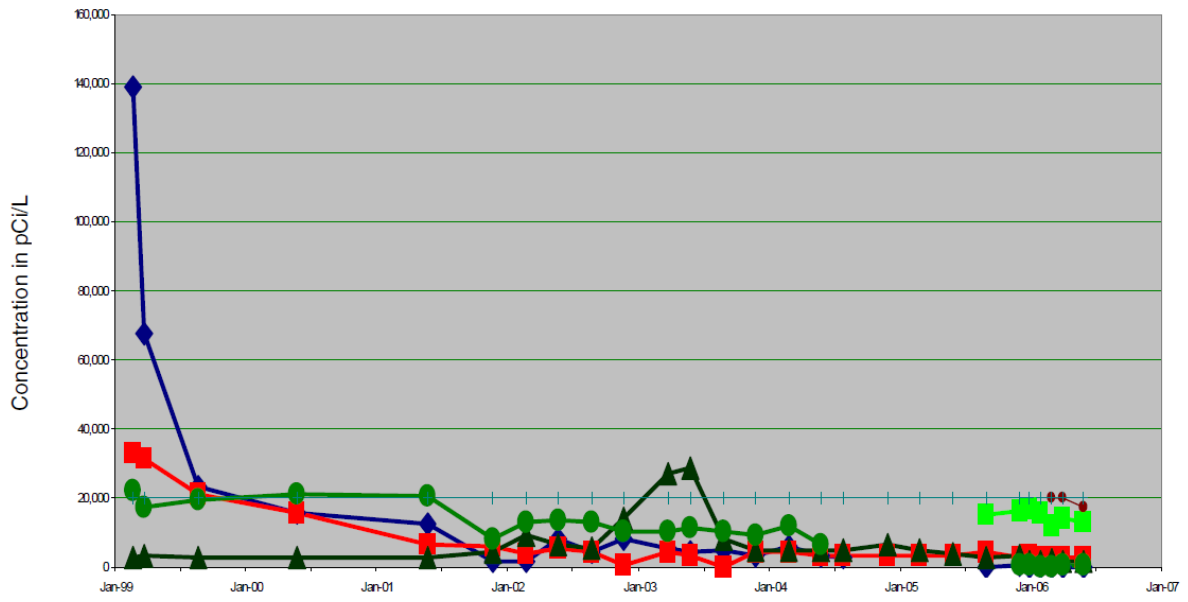


圖 4-19 包括後期整治成果的氚趨勢

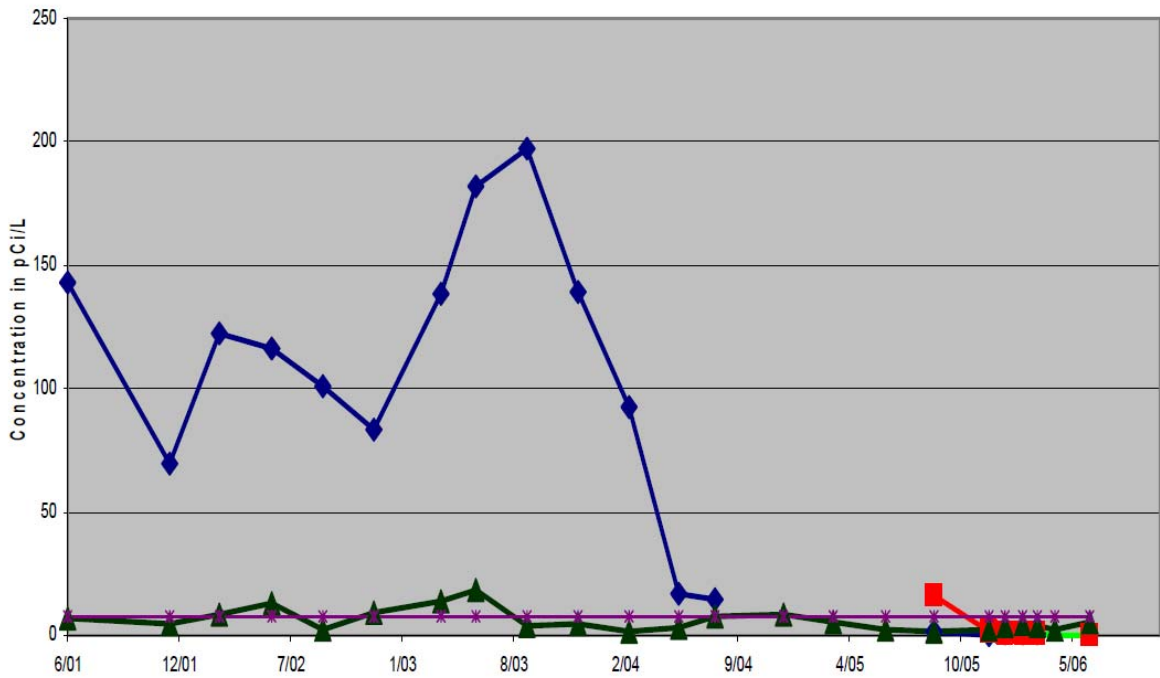


圖 4-20 包括後期整治成果的銻-90 趨勢

#### 4.10 現狀

在提交本報告時的 CY HNP 電廠是處於除役最後階段。截至 2006 年 8 月除役的狀況如下：

- 如前所述，用過核子燃料和超 C 類廢棄物被裝入運送筒，再放入混凝土製造的乾式貯存筒內，在 CY 電廠內的 ISFSI 加以儲存。這個設施包括兩個小型建築，用於支持 ISFSI 操作。

- 在 NRC 運轉執照終止時，留在廠內的所有混凝土基礎和地基，須使用第 8 節所述的 CY LTP 地下室填充模型進行放射性評估。若這些結構的預估劑量是在該介質的目標值之內，則將它們回填。

- 使用第 7 章中討論的方法將圍阻體特定高度以上的建築物加以拆除，所有這些碎片被當成放射性廢棄物處置。

- 位於(發電)工業區的地下結構，如涵洞和暴風雨水渠都被移除。

- 那些廠址上的其他結構（除了那些在 ISFSI 上的結構）及其預期處置如下：

- 一座建築物用於執行放射性廢棄物裝運的建築物，需要進行拆除並以放射性廢棄物加以裝運。

- 工人員使用的兩座建築物和幾個拖車將“自由釋出”，從這些建築物拆除的碎片將送到當地的垃圾填埋場。

- 先前的緊急事件運作設施，這座建築物是“自由釋出”並視為未來業主的財產。

- 525 英畝（213 公頃）廠址中的 320 英畝（130 公頃）已經由 NRC 執照中釋出，但所有權仍然屬於 CYAPCO。

- 當這些地區除役活動完成後，為土地進行最終狀態調查 (FSS)，原定 2006 年底完成除役的實質工作。因此預計這些 FSS 活動將在 2007 年第一季度完成。

- 為期 18 個月的地下水監測期已經完成 6 個月。如在第 9 章的討論，在此期間進行的抽樣結果顯示，由地下水造成的劑量將低於地下水的目標 TEDE 劑量和 EPA MCLS。

- 康乃狄克州的地下水監測將繼續下去，至少到 2008 年或延至 2010 年年底，除非財產轉讓的業主願意承擔地下水監測責任。

## 5 結論與建議

國內核一廠即將除役，而核能電廠設備除役拆除工程是一個十分複雜的系統工程，需要大量的人力、物力與財力，而且工作區域具有較高的輻射。過渡期的活動、除役承包商的選用、用過核子燃料貯存、與主管機關和利害關係者的互動、工程及技術的使用、廠址關閉議題、地下水的整治這些議題都是除役的過程中會遭遇到且無可避免的，參考國外核電廠的除役經驗，可供我們借鏡，及早思考會遭遇的技術、法規、人員、財務、分包商等問題，可讓國內的除役工作安全、順利、經濟及高效率地進行。

目前我國核電廠的除役由「核子反應器設施除役許可申請審核辦法」，規範核能電廠除役作業之許可申請。經營者應於核子反應器設施預定永久停止運轉之三年前提出除役計畫，經原能會審查合於規定，發給除役許可後，才可以開始除役作業，除役工作依主管機關核定之除役計畫執行，於25年內完成除役作業。

目前能蒐集到的國外核電廠的除役經驗，以美國 EPRI 出的報告較為完整，其它國家只有零星的資料，但是在法規方面，美國的法規在 1997 年 7 月已修訂規不再需要提出除役計畫書 (Decommissioning Plan)，取而代之的是停機後除役作業報告 (PSDAR)，由於 PSDAR 的內容相較於 DP 不僅較為簡略，且 NRC 收到 PSDAR 90 天以後，持照人就能進行重要項目的除役工作 (不需 NRC 批准)，這是 PSDAR 與 DP 最大的差異。所以在法規上，比較無法參考美國的做法，但除役計畫批准的程序是較為嚴謹的作法，除了美國，日本及德國都採用批准除役計畫的做法，對於國內第一次面對核電廠除役，採用較為嚴謹的作法應是對經營者及主管機關雙方都比較能接

受的作法。而其它技術、人員、財務、分包商等問題 Oyster Creek、Maine Yankee 及 Connecticut Yankee 的報告中都有探討到。

在美國目前已除役完成的核電廠，幾乎都是 PWR 型式的反應器，尚未有大型的 BWR 反應器核電廠完成除役，Oyster Creek 核電廠的反應器型式與核一廠相同，功率也相近（Oyster Creek 620Mwe，核一廠 636Mwe），圍阻體型式 Oyster Creek 及為核一廠均為 Mark I，Oyster Creek 在除役時硬體及技術會遭遇的問題，核一廠幾乎也會遇到，像是，用過核子燃料儲存池 (SFSP) 與反應器相鄰太近的問題，用過核子燃料未移至乾式貯存之前，難以執行反應器壓力容器及其內部組件的切割；原本反應器廠房吊車不具有單一失效保證、反應器廠房吊車能力僅為 100 噸，無法承受乾式存護箱系統之重量 100 噸，因此，電廠需要提昇吊車的能力（核一廠已提昇吊車的能力）等，所以 Oyster Creek 的除役規劃，雖因故沒有實際執行，但其規劃的經驗非常值得核一廠及主管機關參考。

Oyster Creek 計畫管理一開始就先做一些基本假設包括預定停止運轉的日期：2000 年秋天、除役的模式：立即拆除(DECON)；用過核子燃料的儲存：一開始先用溼式再轉換到乾式；廠址外釋標準：除污至允許廠址可無限制的使用；用過核子燃料最終處置：假設 2010 年前，能源部門將不會接管用過核子燃料；低放射性廢棄物的處置：在電廠除役時，低放射性廢棄物處理廠已就緒；人員的安排：將盡最大的可能來雇用 GPU 公司原廠人員、財務的健全：在停止運轉時，除役信託基金足夠除役工作開展等，再以上述的假設發展除役計畫；核一廠的除役計畫也應有相對應的假設情境，做為除役計畫的基礎。

除役計畫規劃上 Oyster Creek 擬定了除役時所需的計畫、策略、學習及工作內容，並成為 Oyster Creek 電廠除役時的整合計畫，除役計畫規劃共更被細分成 52 個獨立計畫。

將除役過程共分為 4 個階段，分別為：第一階段：除役計畫及準備（從啟動計畫至最後一次停止運轉）、第二階段：去污及拆卸除之計畫準備及修正（在最後停止運轉後至正式除污及拆除工作前）、第三階段：除污及拆除（硬體除污、拆除及裝運）、第四階段：NRC 廠址外釋及執照終止，以及除役完成後的第四階段後：乾式用過核子燃料貯存。

在各階段有其工作的重點並規劃各項工作，像第一階段主要是各項計畫的規劃、廠址特性調查、及申請執照這些準備工作；第二階段時電廠才真正停止運轉，才能進行運轉系統的特性調查及處置、系統化學除污、石棉去除、電廠修改等進行拆除工作的前置作業；第三階段才進行移除大型組件、除污、ISFSI 設計及建造、傳送用過核子燃料至乾式貯存設施（如果有使用）、處理液體廢棄物的、移除活化混凝土及結構材料等拆除工作；第四階段為廠址勘查（Site Survey）並執行執照終止計畫（License Termination Plan），一旦完成這些工作並獲得廠址勘查確認，電廠之執照即可終止。第四階段後為乾式用過核子燃料貯存，期間從廠址保護區之釋放一直延續到所有用過核子燃料從廠址移出為止。

核一廠的除役計畫規劃上也應分為幾個階段來進行，可以依照目前依美國聯邦法規 10 CFR 50.82 “Termination of License” 的規定，將除役作業分為三個階段，或與 Oyster Creek 一樣，依照本身核電廠除役工作的規劃，分為幾個階段。主要是不同的階段關注的工作重點不同，並有其順序性，有些工作雖可以平行進行，但部分關鍵路徑可能會影響整個除役的時程，以目前核一廠的情況，其關鍵路可能是用過核子燃料乾式貯存，因為核一廠

的用過燃料池位於圍阻體內，隣近 RPV，RPV 及其內部組件切割需考量是否會影響用過燃料池，而且 RPV 及其內部組件切割可能會用到用過燃料池，在用過燃料池內的用過核子燃料移出前，RPV 及其內部組件切割可能無法進行，所以，即使建立了用過核子燃料儲存池獨立島區，由於用過核子燃料管理與 RPV 及其內部組件切割兩個除役關鍵活動互相干涉，有可能會影響除役的時程。

在管制程序上，Oyster Creek 申照策略為儘量取得管制上的豁免，目的是為了讓管理者具有靈活性來修改的方案、計劃和程序。根據目前美國的除役法規，是可以解除部份之法規責任：反應器持照人可依據永久停止運轉之相關法規，要求解除下列法規中的部份責任：

- 緊急計畫（10CFR 50.54(g)，Appendix E）
- 運轉人員資格再檢定與人員組織（10 CFR 50.54(i),(j),(k),(l),(m)）
- 廠址現場產物保險（10CFR 50.54(w)）
- 失去所有交流電源（10CFR 50.63）
- 財產保護要求（10CFR 140）
- 安全防護（10CFR 73）

國內主管機關也應思考運轉與除役在管制上的差異，適時地解除核電廠的部分管制，以減輕核電廠人員、財務上的負擔。

在工程及工作程序方面，為了確保在除役時廠址系統所需之合理的設計及修改時間，必需進行設計基礎分析約在最後停止運轉前之 12~24 個月前完成，廠址修改須符合除役需求、設備移除，並能預防或阻止可能的除役事故發生。移除僅限仍在運轉中才會用到的系統，並安裝除役時才會使用到的系統將是規劃時很重要的一個重點。處置大約有 1500 個使用於運轉維護書在除役時是用不到的程序書，主要為確定不需要的程序書、確定新程



序書的使用範圍、確定程序書改變的效用和定義確認程序書效用的審查機制。

Oyster Creek 在 1998 年除役經費預估為 579 百萬美元(約 180 億台幣)，包含 SAFSTOR 情境及用過核子燃料貯存選項(乾式或濕式、廠內或委外)，是委由承包商並送交公用事業委員會(Board of Public Utilities) 預估而得。綜整 Oyster Creek 及其它估算方法，除役一部機組(包含乾式貯存)約需 500 百萬美元，兩部機組約為 1.6~1.8 倍估計，核一廠除役應需 800~900 百萬美元(240~270 億台幣)可能是較為合理的除役經費預估。

Oyster Creek 對於廠址將來的可能用途均須在除役計畫中被考慮；從無限制的至有限制的各種方案均需評估，並考慮碎石化的情境。在第一階段的計畫裡並無包含執照終止與最終狀態的勘察。

Oyster Creek 在廢棄物管理方面進行廠址特性調查以盤查放射性廢棄物及非放射性危害廢棄物，並考量化學除污、液體廢棄物處理及喪失低階放射性廢棄物(LLRW)處理能力、GTCC/高輻射金屬廠址內的貯存能力等各方面的問題，並考量了採用低階放射性廢棄物(LLRW) 代理人的優缺點；用過核子燃料管理方面，則考量包括濕式貯存、廠內乾式貯存、廠外乾式貯存或混合方案。乾式貯存配套則考量了相關問題，像是傳送護箱沈重的負載問題、用過核子燃料貯存池的隔離、破損燃料的處理等問題。

Oyster Creek 對於社區和員工的溝通這方面，由於近三十年，Oyster Creek 電廠和員工及社會大眾已培養並已建立堅強的溝通成效；雖然如此，但電廠提前除役的決定宣佈時，原溝通方式須再評估且需另外建立溝通計畫，將核電廠除役工作的訊息傳達給公眾，由於核電廠除役工作是公眾不熟悉且與社區是息息相關，包括對社區商業的衝擊，增加的交通量，從電廠運出大量材料等等；成立居民工作隊則允許居民取得相關的資訊，方便

於工作的推展。Oyster Creek 電廠的員工經由各種方式可以了解到相關除役的訊息。核一廠進行除役時，如何把相關的訊息公開透明化，讓公眾不會產生疑慮是計畫能否順利進行的一大關鍵，尤其是輻射的劑量、放射性廢棄物的管及用過核子燃料的貯存及處置更需將資訊完全呈現，讓公眾可以放心核一廠的除役。

Maine Yankee 為一個機組 3 迴路壓水反應器(PWR)，額定熱功率為 2700MWt，發電功率為 860MWe；Connecticut Yankee 為 4 迴路閉路循環壓水式核蒸汽供應系統的壓水式反應器(PWR)，額定熱功率 1825 MWt，發電功率 619 MWe；雖然其反應器的型式與核一廠不同，但其除役的成功經驗仍是非常具有參考價值的。

就這兩座核電廠停止運轉，決定除役的原因，一開始都是電廠因為某些因素，需長期停維修，讓營運高層思考是要繼續運轉或進行除役，由於在 1995~1998 年當時原油價格一桶不到 20 美元，核能電廠的營運成本與其相比毫無競爭力，促成這 MY 及 MC 這兩座核電廠提前除役。由於是非計畫性的除役，不足的除役基金如何取得及人力資源的安排等方面需更加謹慎考量。目前國內核一廠應是執照到期的計畫性除役，除役基金應早以妥適地準備，但核二廠有可能因核四運轉而提前除役，需注意除役基金的提撥是否足夠讓核二廠除役順利進行。

在進行核電廠拆除的主要工作前，有許多的準備工作需要進行，這兩座核電廠稱之為過渡期活動，時間在永久停止運轉至除役活動開始期間，在這段期間進行了取照作業、除役承包商的選定、石棉拆除、減少熱點、反應器冷卻系統系統化學除污、廠址及系統的特性調查、Cold and Dark、人力資源轉型、及開始與利害關係人互動等。在 Cold and Dark 中包含了使用過核子燃料池島(Spent Fuel Pool Island, SFPI) 計畫、系統評估與重分類團隊

(System Evaluation and Reclassification Team, SERT)、控制室轉換(Control Room Transition, CRT)，牽涉機械設備、電氣、防火系統的修改，並啟動"橙色計畫"將所有留用的系統以橙色帶子標記，以防人員誤動作。這階段的主要都是低輻射劑量或是無輻射劑的工作，為之後高輻射劑量的主要拆除工作做準備。

除役作業承包商(DOC)這個議題需加以觀注，Maine Yankee 追求固定價格合約的除役作業承包商，但因各種因素，此固定價格合約未能成功，低價得標者可能因財務因素而無法履行合約，而原本想轉嫁部分風險給承包商的作法，也會導致承包商提出更多的例外以保護自己；看似對除役核電廠持照者百利而無害的方法，其實是增加承包商的風險與負擔，不可能又降低除役核電廠持照者自身風險又可減少除役經費的花費，所以 Maine Yankee 及 Connecticut Yankee 最後都是自我執行整個計畫管理，再尋找各項工作的分包商。核一廠的除役需正視這個議題，除役仍需核電廠參與管理整個計畫，分包商主要是協助管理及執行的角色，主導權仍要在持照者的手上。

用過核子燃料貯存 Maine Yankee 及 Connecticut Yankee 的做法都是先用溼式貯存一段時間再轉成乾式貯存，主要的考量為剛退出反應爐的用過核子燃料冷卻期大約需要 5 年，所以需建立用過核子燃料儲存池獨立島區，等到燃料發出的衰變熱和它的反應性下降到適當的程度，在乾式貯存筒結構內不會發生燃料危害或到達臨界，才轉移到乾式貯存系統，而使用乾式貯存系統的原因在於可大幅減少維護費用的經濟因素。由於其用過核子燃料儲存池獨立島區，並不在圍阻體內，並且 RPV 及其內部組件切割也不會使用過燃料池，用過核子燃料管理與 RPV 及其內部組件切割兩個除役關鍵活動可以平行進行，所以不會影響整個除役的時程；但核一廠的用過燃料

池位於圍阻體內，隣近 RPV，RPV 及其內部組件切割需考量是否會影響用過燃料池，而且 RPV 及其內部組件切割可能會用到用過燃料池，在用過燃料池內的用過核子燃料移出前，RPV 及其內部組件切割可能無法進行，所以，即使建立了用過核子燃料儲存池獨立島區，由於用過核子燃料管理與 RPV 及其內部組件切割兩個除役關鍵活動互相干涉，有可能會影響除役的時程，需加以注意。

與主管機關和利害關係人的互動包括聯邦能源法規會(Federal Energy Regulatory Commission, FERC)費率案例、ISFSI 保護墊的允許、碎石化除役方法、廠址外釋標準、社區諮詢小組、等議題，Maine Yankee 為例，被聯邦和州政府機關兩者所管制。這些機關和組織包括：

- 美國核管會(U.S. NRC)
- 美國環保局(U.S. EPA)
- 聯邦能源法規會(U.S. FERC)
- 緬因州人事服務部健康工程組(Main Department of Human Services (DHS), Division of Health Engineering)
- 緬因州環境保護部(Main Department of Environmental Protection (DEP))
- 緬因州公眾宣傳辦公室(Main Public Advocates Office)
- 緬因州公眾事業委員會(Main Public Utilities Commission)
- 緬因州核能安全顧問-聯絡政府及議會的 (Main Nuclear Safety Advisor – A liaison to the Governor and the Maine legislature)
- 緬因州放射性廢棄物及除役諮詢委員會(Main Advisory Commission on Radioactive Waste and Decommissioning)

- 緬因州政府技術諮詢小組-提供除役議題獨立評估，並據此向主政者提供意見(Maine Governor's Technical Advisory Panel – Provides independent evaluation of technical decommissioning issues and to advise the Governor accordingly)

除了這些管制機關，還了一些團體介入 Maine Yankee 管制事宜，像是海岸之友(FOTC)—反核污染團體。

相關的主管機關及利益相關者牽連者眾多，所以在台灣，與主管機關及利益關係人的互動不只是台電與原能會雙方，中央相關部會、縣政府相關部門及環保團體等都有關連，以 Connecticut Yankee 廠址外釋標準這個議題，在表 4-3 中，NRC、EPA 及 Connecticut 州政府每個部門其標準都不一，表中 NRC 的標準往往是最寬鬆，而州政府的標準往往是最嚴格，最終協調結果總是取最嚴格的標準。核一廠除役需注意到，是否有其它法規有規定除役廠址外釋土壤及水源的標準，以免只達到原能會法規標準，而沒達到其它中央政府主管機關或是縣政府主管機關的標準，會有法規適用上的爭議。

工程與技術之應用探討主要組件的裝運和處置、壓力容器內部組切割及圍阻體拆除。壓力容器內部組切割是工程與技術之應用的主要重點，兩個電廠都使用磨料水刀進行壓力容器內部組切割，Maine Yankee 由 Rowe 學習到要保持維持水質持續透明。切割方法是內部組件切成較大的部分，且不放入個別的貯存室。對碎片和大破片製造特別運送箱容器。需要切割的數量大幅減少，因此減少碎片和切屑。發展細部 CAD/CAM 的基礎計畫來規劃切割、詳細的工具運動和放置切片進入運送箱。這允許運送箱裝載最佳化，需要較少的切割和切片移動。Connecticut Yankee 的經驗為維持水下切割水質的穩定是非常重要的、需要足夠的切割主軸剛度/穩定性以確保準確

切割、大片的切片能減少切割的長度、距離及時間、在設備被運送到現場之前應進行一次整合性試驗，確保令人滿意的操作。在設備到現場使用被污染之前，全尺寸實體模型測試對設備的“錯誤”(bugs)是比較容易處理的。目前全世界趨勢是朝向機械切割方式，其優點為二次廢棄物較少、水質維持較為容易，缺點為需針對每一個不同零組件設計不同的冶具、結構需具有相當的剛性等。

對於圍阻體拆除，Maine Yankee 及 Connecticut Yankee 的技術及方法完全不同。由於 Maine Yankee 遇到一些工程上的延誤，Maine Yankee 努力彌補某些計畫時程的方法是使用控制爆炸物拆除部分建築物，特別是，標準機械拆除設備（例如破碎機）的拆除無法到達足夠高度，對電廠建築物結構上層/屋頂發生作用。因此 Maine Yankee 使用炸藥拆除汽機廠房、極座標吊車及圍阻體拆除。Connecticut Yankee 圍阻體拆除使用專門的挖掘機裝有撞擊鎚和剪切器，每次下降 10 呎依序圍阻體，拆除花費大約 3 個月完成。以台灣的狀況，能使用炸藥拆除的機會不高，工程延誤時需考量如何加快速度又能讓公眾接受的技術方法。

廠址關閉議題主要為執照終止計畫，Maine Yankee 及 Connecticut Yankee 執照終止計畫為下列材料評估的潛在劑量：污染的地下室表面、埋置的管道、活化的混凝土/鋼筋、地下水、地面水、表層土壤、埋地管道/管路、深層土壤及沉澱前池，每種材料的劑量進行了估計和加總，以確定關鍵群體平均成員的總劑量。

考慮由九種受污染的材料及五種環境介質放射性核種轉移後，確定可能對在地農民傳送的劑量。五種環境介質分別是地下水、表層土壤、深層土壤、地表水、地下層填補。沉澱前池泥沙不會輕易轉換到五個環境介質，所以分開評估。在地農民被選為劑量評估的關鍵群體。

劑量超過標準地的區域需進行整治，Maine Yankee 的圍阻體混凝土及沉澱前池和擴散器都進行整治，Connecticut Yankee 的地下水整治經驗可供未來台灣核電廠除役遇到相同問題的參考。

目前這兩座核電廠皆已完成除役所有工作，僅剩 IFSFI 留存廠址內，等待 DOE 接收核燃料，大部份的廠址皆已外釋。

Maine Yankee 及 Connecticut Yankee 的除役經驗，從過渡期的活動、除役承包商的選用、用過核子燃料貯存、與主管機關和利害關係者的互動、工程及技術的使用、廠址關閉議題、地下水的整治這些議題都是將來除役一定會面臨或可能面臨的問題，吸取這兩個核電廠除役經驗，及早思考可能面對的問題，可讓國內的除役工作安全、順利、經濟及高效率地進行。

尤其是其中的”軟領域”，包括利益相關者的互動、與主管機關互動、計畫決定的方法（例如，是否使用除役作業承包商、濕式或乾式的用過核子燃料貯存、或是除役的方法）等在除役中所扮演的角色比”硬領域”不遑多讓，會影響整體除役計畫的有效進行，千萬不要只重視技術方面”硬領域”，而忽略了”軟領域”的影響。

## 參考文獻

1. EPRI, Preparing for Decommissioning The Oyster Creek Experience, 2000
2. EPRI, Maine Yankee Decommissioning Experience Report - Detailed Experiences 1997-2004, 2005
3. EPRI, Connecticut Yankee Decommissioning Experience Report - Detailed Experiences 1996-2006, 2006
4. Central Maine Power (CMP) Economic Study, July 30, 1997, [www.maineyankee.com](http://www.maineyankee.com)
5. Proceedings from American Nuclear Society Winter Meeting – November, 2002
6. FERC Settlement Agreement – Docket Number ER98-570-000, December 31, 1998
7. [www.maineyankee.com](http://www.maineyankee.com)
8. ASLB Settlement Agreement – ASLBP No. 00-780-03-OLA, August 31, 2001
9. Primary meeting minutes from Maine Yankee Community Advisory Panel from August 1997 through June 2004 (Maine Yankee)
10. Maine Yankee Community Advisory Panel Self Assessment Report (Appendix D – Maine Yankee)
11. Maine Yankee newsletter for all on-site personnel, The Look Inside, from September 25, 1997 through September 29, 2004 (Maine Yankee)
12. US NRC Inspection Reports for Maine Yankee from August 1998 through January 2004 (IR 98-04 – 03-03) ([www.nrc.gov](http://www.nrc.gov))
13. EPRI/NEI Decommissioning Workshop 12/97 (TR-110006)



14. EPRI/NEI Decommissioning Workshop 12/98 (TR-111025)
15. EPRI Site Characterization Workshop 12/99 (TR-112876)
16. EPRI Decommissioning Engineering Workshop 10/00 (1001238)
17. EPRI LTP Workshop 10/01 (TR-112871)
18. EPRI/NEI Decommissioning Workshop 4/03 (1008924)
19. EPRI/NEI LTP/Site Release Workshop 9/03
20. Evaluation of RCS Decontamination at Maine Yankee and Connecticut Yankee (TR-112092)
21. Experience and Testing of Application of DfD Process (TR-112877)
22. Decontamination of Reactor Systems and Containment Components (1003026)
23. EPRI Reactor Vessel Segmentation Lessons Learned (1003029)
24. Spent Fuel Pool Cooling and Cleanup Systems Experience at Decommissioning Plants(1003424)
25. Summary of Utility License Termination Documents and Lessons Learned: Summary of License Termination Plans Submitted by Three Nuclear Power Plants (1003426)
26. Capturing Historical Knowledge for Decommissioning of Nuclear Power Plants:
27. Summary of Historical Site Assessments at Eight Decommissioning Plants (1009410)
28. Newsletters from the Decontamination, Decommissioning and Reutilization Division of the American Nuclear Society from October 2000 through October 2004
29. The Decommissioning Handbook, ASME, 2004 NRC SECY 00-0041 Use of Rubblized Concrete Dismantlement to Address 10 CFRPart 20, Subpart E, Radiological Criteria for License Termination

30. MYAPC PSDAR Public Meeting Transcript – November 6, 1997
31. MYAPC PSDAR – August 27, 1997
32. MYAPC Irradiated Fuel Management Plan – July 19, 1999
33. Cumulative Risk Assessment for Backlands Portion of the Maine Yankee Site – August 2004
34. EPRI Report, Maine Yankee Decommissioning - Experience Report, Detailed Experiences 1997 – 2004, Final Report, May 2005.
35. NUREG-0586, “Final Generic Environmental Impact Statement on Decommissioning of Nuclear Facilities,” dated August 1988, USNRC Office of Nuclear Reactor Research.
36. NUREG-1575, “Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual (MARSSIM),” dated December 1997.
37. Federal Register, Volume 64, No. 234, dated December 7, 1999, Generic Radionuclide Screening Values.
38. Code of Federal Regulations, Title 10, Part 20.1402, “Radiological Criteria for Unrestricted Use.”
39. Code of Federal Regulations, Title 10, Part 50.82, “Termination of License.”