

第六章 除役時程、使用之設備、方法及安全作業程序

目 錄

第六章 除役時程、使用之設備、方法及安全作業程序	6-1
一、 除役時程	6-1
(一) 時程規劃基礎	6-2
(二) 除役各階段作業目標規劃之依據與原則	6-4
(三) 除役各階段之目標及時程	6-6
二、 除役各階段之拆除作業	6-13
(一) 切割拆除技術簡介	6-14
(二) 具活化效應之結構、系統、組件之拆除作業	6-22
(三) 放射性污染之機械系統、設備及組件之拆除作業	6-42
(四) 放射性污染之廠房結構之拆除作業	6-57
三、 結語	6-63
四、 參考文獻	6-64
附錄 6.A 第六章除役時程、使用之設備、方法及安全作業程序之重要管制事項	6-

圖 目 錄

圖 6-1 核一廠除役架構時程圖	6-66
圖 6-2 除役過渡階段作業排程	6-67
圖 6-3 除役拆廠階段作業排程	6-68
圖 6-4 廠址最終狀態偵測階段作業排程	6-69
圖 6-5 廠址復原階段作業排程	6-70
圖 6-6 反應器壓力槽 3D 模型圖	6-71
圖 6-7 壓力槽頂蓋外型尺寸	6-72
圖 6-8 蒸汽乾燥器外型尺寸	6-72
圖 6-9 蒸汽乾燥器內部摺曲片	6-73
圖 6-10 乾燥器及汽水分離器存放池的上視圖及剖視圖	6-73
圖 6-11 汽水分離器與側板頂蓋外型尺寸	6-74
圖 6-12 頂部導板外型尺寸	6-74
圖 6-13 燃料墊塊外型尺寸	6-75
圖 6-14 爐心底板外型尺寸	6-75
圖 6-15 控制棒導管外型尺寸	6-75
圖 6-16 飼水噴嘴位置	6-76
圖 6-17 爐心噴灑噴嘴尺寸形狀	6-76
圖 6-18 爐心側板外型尺寸	6-77
圖 6-19 爐心側板支持板外型尺寸	6-77
圖 6-20 噴射泵組件外型尺寸	6-78
圖 6-21 反應器壓力槽半球狀底部	6-78
圖 6-22 生物屏蔽內部結構及外部形狀	6-79
圖 6-23 生物屏蔽與圍阻體的相對位置	6-79
圖 6-24 用過核子燃料池中 14 組格架布置圖	6-80
圖 6-25 格架及方管上視圖	6-80
圖 6-26 格架 J 尺寸外觀圖	6-81
圖 6-27 餘熱移除管路系統	6-81
圖 6-28 再循環水系統	6-82
圖 6-29 主蒸汽系統	6-82
圖 6-30 爐水淨化系統	6-83

圖 6-31 緊急爐心冷卻系統.....	6-83
圖 6-32 用過核子燃料池冷卻系統.....	6-84
圖 6-33 廢漿槽所在位置.....	6-84
圖 6-34 廢漿槽外型尺寸.....	6-84
圖 6-35 溢流緩衝槽所在位置.....	6-85
圖 6-36 溢流緩衝槽外型尺寸.....	6-85
圖 6-37 主冷凝器外型尺寸.....	6-86
圖 6-38 再循環泵外型尺寸.....	6-86
圖 6-39 汽機及發電機外型尺寸.....	6-87
圖 6-40 加熱器外型.....	6-88
圖 6-41 汽機及其加熱器布置圖.....	6-89
圖 6-42 主變壓器外型尺寸.....	6-89
圖 6-43 一次圍阻體系統.....	6-90
圖 6-44 聯合結構廠房外觀及剖視圖.....	6-91
圖 6-45 汽機廠房外觀及剖視圖.....	6-91

表 目 錄

表 6-1 核一廠除役建物拆除彙整表.....	6-92
表 6-2 核一廠除役工作分解架構表.....	6-92
表 6-3 氧-燃料切割的性能參數	6-95
表 6-4 電漿切割的性能參數.....	6-95
表 6-5 金屬破碎機的性能參數.....	6-96
表 6-6 接觸式電弧金屬切割的性能參數.....	6-96
表 6-7 接觸式電弧金屬研磨的性能參數.....	6-96
表 6-8 機械式及熱切割之優缺點比較.....	6-97
表 6-9 常用金屬切割技術之優缺點.....	6-97
表 6-10 反應器壓力槽槽壁的主要貫穿管路.....	6-98
表 6-11 反應器壓力槽底部貫穿管路.....	6-99
表 6-12 格架容量重量.....	6-99
表 6-13 餘熱移除管路系統之主要設備.....	6-99
表 6-14 再循環水管路系統之主要設備.....	6-100
表 6-15 主蒸汽系統之主要設備.....	6-100
表 6-16 爐水淨化系統之主要設備.....	6-100
表 6-17 高壓注水系統之主要設備.....	6-100
表 6-18 爐心噴灑系統之主要設備.....	6-100
表 6-19 用過核子燃料池冷卻系統之主要設備.....	6-100
表 6-20 有污染之大型桶槽彙整.....	6-101
表 6-21 汽機之體積及重量.....	6-102
表 6-22 飼水加熱器之體積及重量.....	6-102
表 6-23 聯合結構廠房各樓層之混凝土結構體積.....	6-103
表 6-24 汽機廠房各樓層之混凝土結構體積.....	6-103

第六章 除役時程、使用之設備、方法及安全作業程序

「核子反應器設施管制法」第 21 條規定，核子反應器設施之除役應採取拆除之方式。除役作業規劃應以適當的人力，在維護人員與環境之安全原則下，於最短的時間內完成符合法規要求的之除污、拆除及貯存等工作，以達到確保輻射安全，以及降低人員輻射劑量與減少放射性廢棄物數量之目標。本章依據前述之法規及除役策略，主要說明進行核一廠於執行除役作業時，各階段之執行目標及作業時程之規劃，同時並說明受放射性污染或活化之系統、設備、組件，以及廠房結構之拆除方法與其使用設備之規劃。

本章參考本計畫第三章及第四章之設施運轉歷史評估與特性調查結果，確認受放射性污染之設備、結構及物質之範圍，以規劃應拆除之範圍及時程；另參考本計畫第五章所評估之除役期間仍須運轉之重要系統，進行相關除役作業之安排及設備拆除順序之規劃，以及參考本計畫第八章、第九章與第十七章之除污、放射性廢氣/廢液處理規劃、低放射性廢棄物之數量估算與廠房與土地再利用規劃等，進行設置放射性廢棄物處理間及興建處理與貯存設施之時程規劃。而本計畫第九章、一、(三)節之低放射性廢棄物活度評估，則為本章拆除切割技術選用、工法及評估之依據。

一、除役時程

核一廠除役各階段工作時程規劃，請參考本計畫第一章、圖 1-1，主要分成四個階段，包括除役過渡階段、除役拆廠階段、廠址最終狀態偵測階段及廠址復原階段。其中除役過渡階段約 8 年、除役拆廠階段約 12 年、廠址最終狀態偵測階段約 3 年，以及廠址復原階段約 2 年，共計 25 年。

核一廠運轉執照屆滿停機後，爐心內之用過核子燃料將先全部退出，並安全存放於用過核子燃料池中。考量核一廠除役所需規劃興建的第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)的設計基準之一，為用過核子燃料須冷卻

以可移至乾貯設施，故除役過渡階段之時程規劃為 8 年；這段期間，用過核子燃料貯存於用過核子燃料池中，用過核子燃料池相關冷卻系統需維持安全運轉；待用過核子燃料冷卻至用過核子燃料乾式貯存設施之設計基準後，移至室內乾式貯存設施進行貯存，此時即進入除役拆廠階段。

除役拆廠階段主要作業目標為除污及結構、系統與組件之拆除，此階段於聯合結構廠房與汽機廠房之輻射污染系統及設備完成拆除，且受污染建物完成除污作業後結束。廠址最終狀態偵測階段主要作業目標為聯合結構廠房及汽機廠房之拆除，拆除作業完成後，開始進行廠址環境輻射偵測，偵測結果若符合本公司之非限制性使用之承諾，則開始除役最後之階段-廠址復原階段。廠址復原階段主要作業為進行無污染建物的拆除(若需要)，以及覆土整地等景觀工程。

本節將說明除役各階段之目標及時程，並佐以甘特(Gantt)圖示各階段之拆除程序，以及預計完成時間。

(一) 時程規劃基礎

核一廠拆除時程規劃之工作項目，考量下列需求：

1. 在除役初期除役過渡階段，爐心之用過核子燃料將貯存於用過核子燃料池中，待用過核子燃料冷卻至符合用過核子燃料乾式貯存設施之設計基準後，即可將所有用過核子燃料移至用過核子燃料乾式貯存設施貯放。
2. 為解決除役期間低放射性廢棄物之處理需求，各建物內將規劃適當空間，就近檢整處理，規劃說明如下：
 - (1) 於汽機廠房及聯合結構廠房，設置數個低放射性廢棄物處理區域(如切割、除污、固封等用途)。
 - (2) 熱處理設施廠房設置低放射性廢棄物處理設備(如焚化爐、超高壓壓縮機)。
3. 符合「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」外釋標準之廢棄物，其暫存位置將規劃於公園旁之離廠再確認中心；針對拆除之建築物鋼筋混

凝土塊，設置鋼筋混凝土塊分離場，規劃在停車場區域進行偵檢、敲除與分解。

4. 為儘量減少除役拆除作業時工作人員之劑量，結構、系統及組件之拆除規劃如下：

- (1) 將污染系統之管路殘留液體排淨，並將樹脂自離子交換器移除。
- (2) 建立監測站及界定污染管制範圍。
- (3) 廠區偵檢。
- (4) 系統及污染組件除污，包括化學除污。
- (5) 用過核子燃料移至用過核子燃料乾式貯存設施。
- (6) 移除反應器壓力槽及其內部組件。
- (7) 移除其他大型組件，包括主要之放射性污染組件。
- (8) 移除一次系統之管件。
- (9) 移除其他顯著污染組件。
- (10) 除污且拆除結構或建築物。

5. 為儘量減少除役拆除時所造成之污染，設施建物之拆除規劃如下：

- (1) 將建物內所有設備移除。
- (2) 針對建物表面除污及移除表面污染混凝土。
- (3) 將聯合結構廠房與汽機廠房地表下 1 m 以上可能會受污染的結構拆除，除役時若經偵測後已無污染，則參考國際已除役電廠作法，保留建物地表下 1 m 以下之結構部分。
- (4) 將聯合結構廠房與汽機廠房地表下 1 m 以下之空間，以建物拆除下來並經過偵檢與分離後的混凝土塊，用適當之機具破碎至一定粒徑以下進行回填。
- (5) 若 1m 以下廠房結構物受放射性污染，且無法完全除污時，將於廠內各項拆除及改善措施(例如除污、刨除等)完成後，進行第三階段的廠

址最終狀態偵檢作業，如發現不符合外釋標準時，將針對不符合之處進行鑽心取樣分析，並確認污染深度後，挖除污染之結構物，再次進行輻射偵檢，確認無污染。

(6) 地表下 1 m 以上之空間再以覆土覆蓋。

除役拆除範圍，請參考本計畫第一章、圖 1-2，包括除役保留區以外之發電區側之所有建物，規劃建物拆除彙整如表 6-1 所示，機組編號 0 代表兩機組共用建物。

除役時程於規劃時，已考量除役產生之放射性廢棄物處理及貯存之能力、貯存空間、除污預期效果及初步廠址特性調查結果，說明如下：

- (1) 有關除役產生之放射性廢棄物處理及貯存之能力之說明，係詳述於本計畫第九章第三節。除役時程規劃之工作項目為：低放射性廢棄物處理(工作編碼 2.5.10)。
- (2) 有關放射性廢棄物貯存空間之說明，係詳述於本計畫第九章第四節。除役時程規劃之工作項目為：放射性廢棄物管理準備第一期(工作編碼 1.3)、放射性廢棄物管理準備第二期(工作編碼 2.3)。
- (3) 有關除污預期效果之說明，係詳述於本計畫第八章第一節。除役時程規劃之工作項目為：拆除前除污(工作編碼 1.2.6)。
- (4) 有關初步廠址特性調查結果之說明，係詳述於本計畫第四章第三節。除役時程規劃之工作項目為：廠址特性調查(工作編碼 1.2.5)。

(二) 除役各階段作業目標規劃之依據與原則

核一廠除役期間各階段作業之規劃依據與原則說明如下：

1. 除役作業之規劃依據

- (1) 核一廠除役作業規劃係遵循「核子反應器設施管制法」及「核子反應器設施管制法施行細則」等相關法規規定，以拆除之方式進行，並於取得主管機關核發之除役許可後 25 年內完成除役。
- (2) 一號機 107 年 12 月 5 日運轉執照屆滿，二號機 108 年 7 月 15 日運轉執照屆滿。
- (3) 第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)及其移置作業之工程設計、興建、招標與取得運轉執照，不包含於本計畫內。惟本計畫之時程規劃，納入第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)建立時程。
- (4) 因應除役低放射性廢棄物貯存需求，規劃建置低放射性廢棄物貯存倉庫，需配合反應器壓力槽與其內部組件之拆除時間完成建置。惟低放射性廢棄物貯存庫之工程設計、興建、招標與取得運轉執照等，不包含於本計畫內。
- (5) 放射性廢棄物先規劃廠內暫時貯存，未來配合最終處置場規劃建置時程，再運送至最終處置場。
- (6) 符合外釋標準廢棄物，於除役期間應依據「放射性物料管理法」、「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」及「一定活度或比活度以下放射性廢棄物外釋計畫導則」等規定進行外釋作業。

2. 除役各階段作業之規劃原則

- (1) 因應除役放射性廢棄物處理需求，汽機廠房及聯合結構廠房部分空間改建為放射性廢棄物處理區域；熱處理設施廠房增設低放射性廢棄物減容與處理設施。
- (2) 建築物表面經除污偵檢後，將所拆除之部分鋼筋混凝土塊，先移置於鋼筋混凝土塊分離場，再進行偵檢、敲除與分解。

- (3) 為了降低輻射劑量與避免放射性污染擴散，因此，規劃將有放射性污染之組件先進行移除，以符合合理抑低(ALARA)原則。
- (4) 建物內設備拆除之規劃，原則上係以樓層或房間為工作範圍，訂定相對應之工作任務。
- (5) 考量核一廠二號機之聯合結構廠房與汽機廠房，以及其內部系統與組件，與一號機大致相同；故除役作業排程係以相同之工作分解架構進行規劃。除役作業排程中，工作內容若包含一號機及二號機，則所規劃之工作時程為包含兩部機同一工作任務之時程。

(三) 除役各階段之目標及時程

本節主要說明核一廠除役各階段之作業目標及工作時程規劃，表 6-2 為除役四個階段所對應之工作分解架構(Work Breakdown Structure, WBS)，圖 6-1 為核一廠除役架構時程，圖 6-2~圖 6-5 分別為除役四個階段所對應之除役作業排程。除役各階段主要目標及作業時程，說明如下：

1. 除役過渡階段

本階段主要作業目標為：完成除役工程顧問採購、除役工程規劃及除役承包商採購，另配合除役計畫執行所需文件之增補或修訂，以及新建低放射性廢棄物貯存庫或低放射性廢棄物盛裝容器之申照等，亦於此階段開始進行。

本階段時程規劃約 8 年，各項除役作業及完成時間如圖 6-2 所示，主要任務說明如下：

- (1) 除役規劃準備：此項任務將完成除役工程顧問採購、除役工程規劃及除役承包商採購，其工作內容包含：
 - A. 除役工程顧問採購規範訂定與採購作業。

- B. 停機後之除污、廠址輻射特性之調查、除役安全系統之需求、重要組件之拆解，以及低放射性廢棄物貯存庫與低放射性廢棄物盛裝容器之申照等工作規劃。
 - C. 承包商採購規範訂定與採購作業。
 - D. 除役計畫執行所需文件之增補/修訂(如核一廠程序書、圖面、除役計畫，或主管機關要求提送之文件，如消防計畫等)。
 - E. 除役費用再評估。
 - F. 向管制機關提出必要之法規豁免申請。
- (2) 廠房與場地準備：此項任務將完成現場準備、設施停止運轉、用過核子燃料移出、廠址特性調查、拆除前除污及反應器壓力槽與其內部組件拆解準備，其工作內容包含：
- A. 進行拆解設備之供應準備。
 - B. 進行機組停機及檢查、停止運轉系統洩水與電力設備隔離及設施再利用調查等作業。
 - C. 進行用過核子燃料池安全運轉模式建置、用過核子燃料自反應器移至用過核子燃料池等作業，且維持用過核子燃料池安全運轉，直到所有用過核子燃料完全移置到用過核子燃料乾式貯存設施後才停止運轉。
 - D. 執行反應器壓力槽與其內部組件輻射特性調查、其他區域放射性之調查，以及桶槽放射性調查等。
 - E. 執行一次系統除污、其他系統初步除污、廠房初步除污、系統液體清除、可燃物質清除及其他設施運轉廢棄物清除，同時於機組停機後，配合除污作業之執行，再次進行廠址特性調查，除可瞭解廠址與設備之輻射現況外，亦可取得因機組運轉時無法得到之

相關輻射資料，此有助於設備及廠房拆除時之工程設計、輻射防護及放射性廢棄物管理等規劃。

F. 執行拆除作業的準備工作及設備建置。此項作業規劃於開始進行反應器壓力槽及其內部組件拆解作業(聯合結構廠房設備拆解第一期)前應完成。

(3) 放射性廢棄物管理準備第一期:此任務將完成放射性廢棄物管理設施準備與建造，其工作內容包含：

- A. 建置低放射性廢棄物貯存庫，貯存除役產生之低放射性廢棄物。
- B. 建置第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)，以配合用過核子燃料之乾式貯存。
- C. 建置放射性廢棄物超高壓壓縮機，針對可壓縮低放射性廢棄物進行壓縮處理。
- D. 建置焚化爐，針對可焚化低放射性廢棄物進行焚化處理。
- E. 放射性廢棄物盛裝容器準備。
- F. 廢棄物處理區域準備。
- G. 低背景量測區域準備。

(4) 拆解與拆除：此項任務將針對部份於除役過渡階段已停用的系統、設備、組件進行拆解與拆除作業。

2. 除役拆廠階段

本階段主要目標為開始進行全面放射性污染之系統、設備、組件之拆除，拆除物件包含核一廠聯合結構廠房、汽機廠房及其他污染建築物內之系統、設備、組件等，以及廠房內受污染之混凝土結構物表面污染之剷除。

本階段時程規劃約 12 年，各項除役作業、拆除程序及完成時間，如圖 6-3 所示，主要任務及時程說明如下：

(1) 除役規劃準備：此項任務主要是完成通用設備與材料之採購，本項任務係配合除役拆除作業，故除役過渡階段後期即可開始準備，其工作內容包含：

A. 人員、輻射防護及管制等常用設備採購，提供執行除役作業時所需之工具或設備。

B. 低放射性廢棄物貯存庫所需之安全及維護設備採購。

(2) 廠房與場地準備：此項任務係執行現場準備作業，包含設置待外釋廢金屬之暫存倉庫及鋼筋混凝土塊分離場，此階段時間與放射性廢棄物管理準備時間相同。

(3) 放射性廢棄物管理準備第二期：此項任務主要執行放射性廢棄物貯存設施建造與運轉作業，並於除役拆廠階段結束前啟用運轉。至於除役過渡階段所建置之第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)，規劃在除役拆廠階段間，將用過核子燃料自用過核子燃料池移至用過核子燃料乾式貯存設施；至於除役過渡階段所建置之低放射性廢棄物貯存、減容及處理等設施，規劃在聯合結構廠房設備拆解第一期作業開始前啟用運轉。

3

3

(4) 用過核子燃料移置乾式貯存設施：此項任務主要進行用過核子燃料池之清空，包含用過核子燃料移至用過核子燃料乾式貯存設施，用過核子燃料池內其他低放射性廢棄物移置，並存放於適用之容器與貯存場所。此任務開始於用過核子燃料乾式貯存作業啟動，至用過核子燃料池之所有移置作業完成後，才開始執行聯合結構廠房設備拆解之第一期作業。

(5) 拆解與拆除：此項任務主要是完成除役需求系統調整、聯合結構廠房與汽機廠房內所需低放射性廢棄物處理區域準備、聯合結構廠房與汽機廠房內所有設備組件之拆除及混凝土結構物表面污染之剷除、其他輻射作業廠房內所有設備組件之拆除及混凝土結構物表面污染之剷除、其他非輻射作業廠房內設備拆解，以及低放射性廢棄物處理等，其工作內容包含：

- A. 調整建置除役所需系統：因用過核子燃料已全部移至用過核子燃料乾式貯存設施，無須再維持用過核子燃料池之安全運轉，故相關系統可解聯，並配合後續之拆除作業，進行相關安全系統之調整建置，如電力、通風空調、火災警報、壓縮空氣、除污供水與吊運設備等系統。
- B. 在用過核子燃料準備開始自用過核子燃料池移至用過核子燃料乾式貯存設施的期間，即可同步開始進行汽機廠房低放射性廢棄物處理間之準備作業。工作內容包含在汽機廠房內規劃低放射性廢棄物處理區域，來處理汽機廠房設備拆解時所產生的低放射性廢棄物，因此，汽機廠房低放射性廢棄物處理區域與汽機廠房設備拆解第一期作業是同時進行。
- C. 用過核子燃料移置作業完成後，開始進行拆解與拆除作業，拆除範圍包含核一廠聯合結構廠房、汽機廠房及其他污染建築物內之系統、設備、組件，以及混凝土結構物表面之刨除。另考量合理抑低之作業原則，規劃先從汽機廠房開始拆解與拆除，待完成用過核子燃料移至用過核子燃料乾式貯存設施後，才開始執行聯合結構廠房之設備拆解作業。為提升拆解效率，在聯合結構廠房設備拆解第一期中，規劃每部機組及其內部組件的拆解時間為 3 年，一號機及二號機拆解時間重疊，故聯合結構廠房設備拆解第一期時間規劃為 4 年。
- D. 汽機廠房設備拆解之第一期，主要拆解汽輪機組，包含發電機、高壓汽機、低壓汽機、高壓飼水加熱器及低壓飼水加熱器等。於用過核子燃料乾式貯存業完成後，則可接續執行汽機廠房設備拆解第二期，即針對汽機廠房各樓層系統與設備開始執行拆解。
- E. 聯合結構廠房拆解第一期，為拆解反應器壓力槽及其內部組件，包含反應器壓力槽頂蓋拆解及反應器壓力槽內部組件拆解。其後接續將反應器冷卻淨化系統等進行洩水與樹脂移除，以及五樓用過

核子燃料池與蒸汽乾燥器儲存池清空等。前述作業完成後，開始執行聯合結構廠房設備拆解第二期，聯合結構廠房設備拆解第二期工作內容為拆解廠房內所有設備及刨除混凝土結構物表面；規劃以逐層之方式進行拆解與拆除，各樓層再依據房間或區域劃分執行拆解與拆除作業，最後為反應器廠房混凝土之拆除，包含反應器圍阻體及生物屏蔽等。

- F. 汽機廠房與聯合結構廠房設備拆解第二期，是規劃將汽機廠房與聯合結構廠房各樓層的拆解與拆除，將規劃逐層拆除，各樓層規劃再以房間或區域為範圍依序拆解與拆除，每個樓層各房間或各區域拆解與拆除順序；除考量各房間或各區域所在之位置、拆解與拆除困難度及輻射污染特性等因素外，亦考量廠房內部拆解之低放射性廢棄物的運送路徑。聯合結構廠房各樓層之拆解與拆除，將規劃先從一樓開始，然後為地下二樓、地下一樓、二樓、三樓、四樓及五樓；汽機廠房各樓層的拆解與拆除，規劃先從一樓開始，然後為二樓及地下一樓。各房間或各區域範圍設備之拆解與拆除，拆解作業內容可歸納為程序管線與設備拆解、結構與各種鋼材拆解、通風空調等公用設備拆解、電氣設備與電纜拆解，以及建物結構之天花板、地板與牆面污染混凝土清除。
- G. 接著開始其他輻射廠房內設備組件及污染混凝土拆除，如氫氣產生系統、廢氣廠房及主煙囪等，此時對除役範圍內廠房進行除污並做一定活度或比活度以下放射性廢棄物之外釋作業準備，同時拆解其他非輻射廠房的設備組件。配合拆解與拆除作業，所產生的低放射性廢棄物需要進一步處理者(如量測、處理/判別、整理/分類、減容、組件除污、包裝運送等)，將依據低放射性廢棄物類別與輻射特性進行分類處理，處理完之低放射性廢棄物使用已獲許可之貯存容器包裝，並存放於已獲運轉執照之貯存設施。

除役拆廠階段為整個除役作業的核心，主要與輻射有關的作業大部分都在此階段，包含用過核子燃料移置至用過核子燃料乾式貯存設施、輻射污染設備組件拆解與拆除、拆解低放射性廢棄物處理貯存等。

3. 廠址最終狀態偵測階段

此階段主要目標為拆除核一廠聯合結構廠房、汽機廠房及其他非污染的建築物，並進行土壤整治(若需要)及廠址最終輻射偵測。

此階段規劃約 3 年，階段中之各作業除役與拆除程序及完成時間，如圖 6-4 所示，主要作業時程說明如下：

- (1) 建築物拆除：在除役拆廠階段，所有須拆除的建築物內部及外部設備組件已拆解完成，且建築物有活化污染的混凝土也除污與拆除完畢，故此階段的建築物拆除作業，可考量採用商業化的拆除機具及工法作業，由於聯合結構廠房與汽機廠房規劃於除役拆廠階段結束前兩年，即完成其內部設備組件設備拆解及活化污染混凝土拆除。所以，聯合結構廠房與汽機廠房之建築物拆除作業規劃，開始於除役拆廠階段結束前兩年或廠址最終狀態偵測階段開始前兩年執行。此外，其他無污染建築物的拆除作業，則是於聯合結構廠房與汽機廠房之建築物拆除作業完成後，即開始進行拆除，其需拆除的建物有二號機新寒水機房、五號柴油發電機、主警衛室與修配大樓等。另建築物拆除作業，主要產生的廢棄物是為鋼筋混凝土，而且大部分是可以外釋；部分切除之受污染混凝土塊將移置於鋼筋混凝土塊分離場，執行混凝土塊的偵檢與小範圍敲除處理，以減少低放射性廢棄物數量。
- (2) 土壤整治(若需要)：完成改善措施輔助偵檢與土壤更換，在此階段除役範圍內若是仍有污染土壤，則須將污染土壤移除並更換土壤。
- (3) 廠址最終輻射偵測：執行最終輻射偵測以驗證除役後廠址是否符合除役目標。此外，須將最終輻射偵測結果送經主管機關核備。

- (4) 除役後之廠址環境輻射偵測報告準備：進行除役後之廠址環境輻射偵測報告準備工作，以利除役計畫執行完成後六個月內，將該報告送主管機關審查。

4. 廠址復原階段

此階段主要目標為繼續拆除其他未拆完的建築物，進行土地復原，最後提交除役終止核備文件至主管機關。

此階段規劃約 2 年，階段中之各作業除役與拆除程序及完成時間，如圖 6-5 所示，主要作業時程說明如下：

- (1) 建築物拆除：此階層是將在廠址最終狀態偵測階段內未拆除完之其他無污染建築物拆除完畢。
- (2) 土地復原：此階段依據除役目標，進行除役範圍內土地之覆土、整地等景觀工程。
- (3) 報告提送：最終輻射偵測作業完成後 6 個月內提送除役後之廠址環境輻射偵測報告及除役完成報告，送主管機關審查同意後解除除役管制，以符合核子反應器設施管制法第 28 條及核子反應器設施除役許可申請審核及管理辦法第 13 條。
- (4) 除役終止：完成除役範圍內土地復原之相關作業。

6

6

二、除役各階段之拆除作業

核一廠的除役拆除作業大多集中於除役拆廠階段及廠址最終狀態偵測階段，前者拆解對象，主要是針對具活化效應或放射性污染之結構、系統、組件與廠房結構，以及廠房內外無放射性污染之結構、系統與組件。而後者則是拆除無放射性污染之廠房結構。

由於除役拆廠階段係於 116 年開始，故現階段之除役拆除作業規劃係參考國外核電廠除役之拆除經驗，並考量核一廠現場實際狀況，對可能之拆解與移除工法進行規劃及建議，並敘述在各項作業進行時，所需採行之安全作業程序及其相關之輻射防護與防治污染擴散之設計，供未來細部規劃之參考。於實際執行拆除作業前，本公司將參考當時國際最新拆除技術，針對反應器設施廠房結構及各重要系統、設備、組件等拆除之工法及時序進行細部規劃，並另案提報主管機關，經核准後據以執行。

本節將分別說明(1)具活化效應之結構、系統與組件；(2)放射性污染之機械系統、設備及組件；(3)放射性污染之廠房結構等物件，國際常用之切割及拆除技術，包括金屬的冷、熱切割技術及混凝土的拆除技術。主要之拆除項目，包括：(1)核一廠反應器壓力槽及其內部組件；(2)大型桶槽；(3)NSSS 系統(如 Recirc, RHR 等)；(4)混凝土結構。

(一) 切割拆除技術簡介

拆除作業可概分為拆解與切除這兩種類型。拆解通常是以非破壞性的方式，通常是依照組裝的反向順序，逐步移除扣件(如螺絲、螺帽等)與組件；切除則採破壞的方式，使零組件喪失原有的功能或幾何形狀。

以切除作業來移除設備或結構時，可以採用手持或遙控操作執行拆除，而拆除技術的選用需做下列評估：

- 切割效能：影響效能的因素有切削速度、切割深度、可靠性、維護需求、適應性、設備尺寸、設備重量及切割系統布置。
- 現場狀況：現場的可接近性及障礙物、設備的操控性、現場可提供的資源，以及電廠系統的需求。
- 安全考量：影響安全的因素分為輻射安全及工業安全，輻射安全是考慮輻射劑量、空浮、表面污染及放射性廢棄物產生；工業安全是考慮火災、高空墜落及有毒氣體等可能產生工業安全災害。
- 成本考量：影響成本的因素包括設備成本、耗材成本與人工工時需求。

切割作業分為冷切割及熱切割兩類：在切割過程中刀具會碰觸工件者稱為冷切割方法，又稱為機械式切割，例如：鋸切、剪切、研磨、鑽石索鋸、...等。而磨料水刀也屬於冷切割的一種，但工作過程中切割刀具並不會碰觸工件。

熱切割通常是在不直接接觸工件的情況下進行切割，主要可分為兩種：

一種是讓化學物質在氧氣中燃燒，如氧氣切割、氧乙炔火炬；另一種則為放電，如電漿切割，方法有電漿火炬、放電加工、金屬破碎機...等。此外，爆炸切割也可歸類於熱切割。

切割技術應用的對象區分為金屬及混凝土，一般常用於核設施除役的切割技術敘述如下：

1. 金屬的熱切割技術

金屬的熱切割技術通常是在不直接接觸工件的情況下進行切割。相對於機械切割是以刀刃切斷金屬，熱切割使用的是介質，這些介質可以聚焦高能量光束(如雷射)或是高溫火焰(如電漿)。大多數熱切割技術的優點是：

- 可在水下或空氣中執行；
- 可用遙控操作，減少工作人員接觸高輻射區域；
- 可長時間工作，而降低總成本(儘管設備架設與拆卸的時間較長)。

熱切割技術有一個共同的特點，它們利用的熱源使材料融化、昇華、燃燒或弱化，最後造成大型構件的解體，成為易於掌控的形狀。通常它將結合機械裝置以運送金屬塊或熔融物質。常見的熱切割技術如下：

(1) 氧-燃料切割

氧-燃料(Oxy-fuel)切割中所稱的「燃料」，可以是乙炔、丙烷或其他可燃氣體，切割過程使氧與被切削材料之間出現放熱化學反應。此一切割技術適用於碳鋼(肥粒鋼)材料，在切割過程中燃料火焰提供活化能量，而氧氣流動產生的機械能使得工件表面形成切縫，進而將熔融的氧化產物(金屬融液)自切縫中移除。氧-燃料切割的性能參數如表 6-3。

(2) 電漿切割

電漿切割(Plasma Cutting)是以可離子化的氣體為工作氣體，在電漿火炬與工件之間通過電流，電流持續加熱工作氣體而產生電漿，以高溫高速的

電漿流(電離氣體)為熱源，將被切割的金屬局部熔化，同時，利用高速氣流將已熔化的金屬吹走，形成狹窄切縫進一步的輸送熔融材料。電漿切割的優點為：切割速度快、切縫狹窄、切口平整、熱影響區小、工件變形小、操作簡單，而且具有顯著的節能效果。電漿切割常見於鈹金加工技術，因為它結合了高切割速度與高精度，材料加工的厚度可達 150 mm。因此，它可以被用於除役的各種切削任務中，也可以很容易地進行遙控操作。電漿切割的性能參數如表 6-4。

(3) 放電加工

放電加工(Electrical Discharge Machining, EDM)的過程主要是以脈衝發射出高電壓低電流的火花，火花由電極(通常是銅)射向工件。工件材料被火花熔化或昇華，隨著火花點燃後立即引發氣泡的爆裂，進而對周圍的介質產生衝擊波。這種衝擊波將使得切縫中的加工材料被移除。

通常放電加工會在切割速度上受到限制，但它的工作原理可以延伸出多種應用形式，如下所述：

A. 金屬破碎機

金屬破碎機或稱金屬解體機(Metal Disintegration Machining, MDM)是以放電加工的原理為基礎，可使用石墨、二硫化鉬、銅或鋁為電極，產生高能量、低電壓的熱衝擊。電極每分鐘上下振動 3,600 次，每次電極接觸目標物時就形成電弧，電弧在接觸點處的溫度高達 3,000 °C。將清水持續不斷的向下注入電極中，引起熔融金屬熱分解，同時把熱衝擊下的金屬碎屑沖出，產生的碎片大小一般小於 10 μm 。水同時可以散熱，使熱量集中在與電極尖端接觸的小區域內。金屬破碎機常用於拆卸卡死或焊死的螺栓。金屬破碎機的性能參數如表 6-5。

B. 接觸式電弧金屬切割

接觸式電弧金屬切割(Contact Arc Metal Cutting, CAMC)是以放電

加工的原理為基礎，透過它的石墨電極提供切割程序需要的電流。但是，並非經由高電壓點火，而是使用低電壓電漿弧，讓能量得以傳遞。當電極直接接觸工件時，會產生離子弧造成短路。接觸點所造成的高溫，將產生足夠的離子，進而點火啟動切割電弧。以高速平行水流覆蓋電極，以水流來運送由熔融金屬產生之金屬碎屑，並從電極帶走多餘的熱量。接觸式電弧金屬切割的性能參數如表 6-6。

C. 接觸式電弧金屬研磨

接觸式電弧金屬研磨(Contact Arc Metal Grinding, CAMG)類似於CAMC，使用電極來傳輸必要的電能以執行切割。CAMG 電極(主要是 Cu/W 的合金)為圓盤狀，旋轉速度約 500 至 1,500 轉/min，需要有流體流動，以除去旋轉時產生的熔融材料。電極與工件之間接觸造成的短路使電弧點火啟動，具有非常快的切割速度。接觸式電弧金屬研磨的性能參數如表 6-7。

(4) 爆炸切割

爆炸是物質產生非常迅速的化學或物理變化，而在變化過程中迅速地釋放出大量的熱量及氣體。爆炸切割是一種適用於金屬或其他材料之拆解方法，爆炸切割器的爆炸核心外有一層金屬外殼，這個外殼是由鉛、鋁、銅、或銀所組成。爆炸切割是利用高爆射流、轟擊產物與變形的金屬外殼，形成了一個定向衝擊波以切削目標材料。

2. 金屬的冷切割技術

冷切割技術包括剪切、鋸切、研磨、銑削、鑽石索鋸等，在切割過程中刀具會碰觸工件者，這些又稱為機械式切割。此外，磨料水刀也屬於冷切割，但它的噴嘴不會碰觸工件。

(1) 剪切

剪切是利用機械力使材料分離，油壓剪是常見的剪切工具，以油壓推動刀刃進行材料的剪切或撕裂，可剪切的形式如下：實心圓鋼棒、實心扁鋼片、空心圓鋼管、空心四方鋼管、角鋼及纜繩等。

此外，壓穿式電剪(Nibbler)也是屬於剪切工具，它的工作原理是將被切割的材料置於圓形衝頭及圓孔模具之間，衝頭以高速進行往復運動，將材料分離去除達到切割的目的。此一工具的體積小重量輕，適合各種鈹金材料的切割作業。

(2) 鋸切

鋸切的定義是使用多齒刀具切割出狹窄的切縫，常見的鋸切工具有鋼絲鋸、鋤刀鋸、弓鋸、帶鋸及圓盤鋸等。一般來說，鋸切是一個經過驗證的工業技術，它產生的二次廢棄物(碎屑)量少且容易收集，也常用於世界各地不同的除役專案中。在切割過程中由於刀具的磨損，因此，需要適時進行刀具的更換。

(3) 鑽石索鋸

鑽石索鋸可視為廣義的鋸切工具，其刀刃是鑲在鋼索上的鑽石，通常使用直徑約 11 mm 的鋼索，在每一公尺的鋼索上平均分布著約 40 個鑽石環。由於鑽石環之間的小段鋼索具有彈性，讓整條鑽石索鋸可以彎曲，鋼索利用滾輪導引來改變方向，移動鋼索與工件產生摩擦達到切割的目的，一般鑽石索鋸常用於切割混凝土，但也有用於金屬物體切割，或是鋼構與混凝土混合的結構體。

(4) 研磨

在進行研磨切割時，刀具材料也伴隨著工件碎屑一併被去除。刀具使用的材料是：樹脂黏結氧化鋁、碳化矽、氮化硼或鑽石的粉末，並由玻璃纖維加以局部強化。配合移動性設備的使用，可使金屬的切割深度達到 30 mm。在切割過程中需要良好的散熱與穩定的工具導引。常見的研磨切割工具如砂輪機。

(5) 銑削

銑削這種處理程序具有較高的材料移除率，但它的本意並非是使工件分離拆解，因此，用於拆除作業時將耗費較多的時間與刀具。銑削程序並不是特別適合於拆除核電廠，通常只適用在特殊的情況下(例如，零件的整修)，或是配合其他技術一起使用。

(6) 水刀切割技術

水刀技術除了用在清潔與切割之外，還有其他的應用，如銑削、車削、鑽孔、破碎、表面改質等。水刀中不添加任何磨料，可用於切割軟質材料、表面除污及去除表面塗層等工作。

若在水中添加磨料可以切割鋼鐵等硬質材料。目前正在使用的兩種磨料水刀：磨料注入水刀(Abrasive Water Jet, AWJ)與磨料懸浮水刀(Water Abrasive Suspension, WAS)。切割鋼鐵的深度 AWIJ 為 120 mm，AWSJ 可達 300 mm。

水刀技術其主要優點是在切割時，不產生強大的反作用力、振動及熱應力，工具磨損少，適用於易燃易爆的環境。它的缺點是水容易造成交叉污染及產生大量的二次廢棄物。

3. 金屬切割技術比較

比較前述各種金屬熱切割及機械式切割之優缺點如表 6-8，對於常用之金屬切割技術之詳細列出之個別優缺點如表 6-9。

4. 混凝土切割拆除技術

拆除混凝土結構(牆壁、地板、天花板與地基)的方法有許多，每個方法在成本、人員曝露及整體效益等各方面，都有不同的優點與缺點。有一些方法是儘量減少廢棄物，另一些則是將結構完全地拆除(並不區分成清潔或污染材料)。一般而言，核電廠廠房建築物的拆除有需要利用各種技術，達成下列目標：

- 分段拆除：逐段去污，在污染移除後允許無條件釋出。

- 指定區域拆除：可能不會有完全被污染大表面，因此，它只需要移除那些受影響的區域。
- 限制污染區附近的拆除：選擇性切割允許有秩序的移除這種結構，避免交叉污染。

混凝土切割拆除之主要技術，分述如下：

(1) 鑽石索鋸

鑽石索鋸可以在牆壁上創造開口與分離大型混凝土結構，且鋸切面非常光滑。與大多數其他的切割技術相比較，鑽石索鋸對於被切割物件的尺寸與厚度的限制較少。需要包括由電力或液壓驅動的基本設備、控制箱，至少兩個轉向導引輪(Deflection Roller)，以及在較大切割面的情況下儲存鋼索的機構。

切割設備僅需要少量的空間，或者也可以安裝在一段距離之外，甚至安裝在另一個房間，而讓切割鋼索穿過一些小通道。因此，使用固定的轉向導引輪可使鋼索不斷的改變鋼索前進方向。

雖然鑽石索鋸技術通常使用水加以冷卻，也可以在乾燥狀況下進行切割。切割鋼索的出口處使用密封收集系統，可以減小粉塵的排放。

(2) 鏈鋸

技術的原理是磨削加工，類似於索鋸。有鑽石塗層的鏈條藉著軌道機構加以安裝與引導。由於鏈條的長度短及鏈條與導桿之間的摩擦，設備很快會發熱，因此，需要使用水冷卻。鏈鋸不同於索鋸或圓盤鋸，它可在薄的牆壁與天花板上快速切出開口，而不需要安裝太多的設備。另外，也可以直接插入表面，因而在某些情況下，可以省略鑽孔的程序。

(3) 圓盤鋸

以馬達驅動鑽石或碳化物合金的鋸片，在混凝土的地板或牆壁切出一道切縫。如果是在呈直角的狀況下切割，鋸片可切斷鋼筋。雖然新技術正在

對遙控操作的可能性進行評估，但大多數混凝土鋸是安裝在軌道上以手動操作。正常的切削厚度約是鋸片直徑的 1/3，混凝土是可鋸切的最大厚度約 1 m。鋸切速度可以達到每分鐘 1 m²，視混凝土成分而定。由於大多數混凝土鋸片採用水冷卻以防止翹曲，因此，水是一個值得關注的二次廢棄物，另一個值得關注的是空氣污染(粉塵與金屬微粒)。

(4) 錘擊

當大規模的建築物需要拆除，液壓錘是一種經濟有效的技術(低投資、高效益、操作容易)，但它需要特別注意安全方面的問題(結構的穩固、振動能量的釋放、瓦礫掉落、高度的噪音)。移除生物屏蔽中的活化物質就是一個典型的應用。

將液壓錘與挖土機結合使用，可發揮最大效果。市面上有各種不同的尺寸的挖土機，且可靠度高、結構緊湊、電動及遙控。在挖土機無法接近的地區，可以考慮使用的手動操作的電動錘(氣錘)，但應該考慮操作人員的安全下，做出適當的限制。

錘擊無論是在進行敲鑿動作或是敲下的混凝土塊掉下來撞擊其它碎片，都會產生大量的粉塵。可以在鑿子附近使用碎屑吸取系統，或一組空氣中的灑水裝置來限制粉塵的形成。

(5) 爆炸

在切割金屬及混凝土時，使用爆炸方法的目的，通常是用來使物體形成特別設計的幾何形狀與尺寸，而達成所期望的切割狀況。炸藥核心外圍包覆著鉛、鋁、銅或銀等材料所組成的外殼，爆炸使得相關產物及變形金屬外殼形成高能爆炸噴射，此一衝擊波將切削目標材料。

在空氣中與水下爆炸切割超過 15 cm 厚的材料時，執行的承包商必須擁有執照。爆炸切割的使用是有限制性的，因為爆炸可能影響周圍其他建築物的結構完整性，或產生無法控制的放射性材料擴散。因此，只有其他切割方法是不實用或使用受限的情況才選用爆炸法。又由於會產生高度的

噪聲、煙霧與碎片，因此，必需做好污染控制。

(6) 火焰切割

火焰切割(Flame Cutting)混凝土是採用鋁熱反應程序，鐵與鋁的粉末混合物在氧氣射流中被氧化。噴射火焰的溫度(約 8,900 °C)導致混凝土迅速分解。所產生的熔融混凝土從切縫中被射流所吹走，可使切縫保持清潔。

火焰也可切割鋼筋，因為鐵實際上會強化鋁熱反應。通常情況下，軌道式火焰切割機能切割混凝土深度達 150 cm(有鋼筋或無鋼筋)。火焰切割的主要缺點是產生的大量熱量，煙霧與有毒氣體。

(二) 具活化效應之結構、系統、組件之拆除作業

(1) 拆除切割前的準備作業輔助設備

設計及架設各種用於拆除切割之輔助設備，如機械手、工作平臺、轉盤、(空氣及水質)過濾系統，工具移動載具、搬運設備、照明與監視系統及除污設備等。

(2) 模擬測試

視需要製作全尺寸或部分尺寸模型，進行切割工法及設備(含輔助設備)之測試與操作訓練，依據測試經驗決定選擇適合的切割及切割參數(如速度)。

(3) 廢棄物分類

主要是考慮反應器壓力槽及其內部組件，以及周邊的結構與系統，因為它們距離爐心較近，受到中子而被活化，但是隨著材料的不同，或是離爐心的距離不一，而具有不同的輻射強度，在低放射性廢棄物分類時可能出現 A、B、C 及超 C 類等各種類別，而不同的低放射性廢棄物種類將會影響後續的切割規劃及包裝。首先，以電腦進行中子活化分析，請參考本計畫第九章、一、(二)、2.節，在此基礎上預先建立反應器壓力槽及其內部組件的切割規劃。其次，在切割作業開始之前，可進行內部組件的特性調查，以驗證電腦分析的數據，這樣在必要時可以重新評估先前的切割

規劃。

(4) 切割規劃及包裝

切割規劃是對於待切割物件之切割方式及切割線(路徑)進行規劃，以決定切割件的大小，其目的是希望能達成切割最佳化，也就是切割次數或切割長度為最少，如此可以減少切割時間及降低刀具的耗損，而這些都會直接或間接地影響到人員劑量及作業成本。

同類型的低放射性廢棄物在盡可能極大化切割的同時，影響切割規劃最大的因素之一就是包裝，切割件必須可以裝入廢棄物容器內，因此，切割規劃必須要考慮容器的尺寸。此外，對於一些具有高輻射之切割件，則必須提高容器的屏蔽效果，或是縮減容器內高輻射切割件的數量，以符合包裝相關的法規。

(5) 現場整備

系統及工作區的輻射特性調查、運輸路線的規劃(清除障礙)、工作區地板的補強(用於設備安裝及防止地板損壞)等。對於暫時無法移除之輻射源應予以適當之屏蔽。

(6) 系統除污

嚴重污染的管路系統在切割移除前應完成系統除污，有效減少工作人員的劑量。系統除污部分請參考本計畫第八章、一、(二)、2.節。

1. 反應器壓力槽及其內部組件

反應器壓力槽及其內部組件，由於長期接受中子照射活化，因此，有較高的放射性並具高輻射強度。圖 6-6 中的第 1 項屬於反應器壓力槽外殼的一部分，2~12 項為反應器壓力槽內部主要的組件，13 項是控制棒驅動系統的支撐架，14、15 項則是反應器壓力槽外殼及其支撐裙板。

在進行反應器壓力槽切割拆除之前，可先將大部份的內部組件予以移除。基於輻射安全的考量，內部組件的移除及切割作業多數選擇在水下以遙控方

式執行。以下是依據除役各階段時程與作業目標，依序列出反應器壓力槽內部組件的基本資料及可能的切割規劃。

(1) 壓力槽頂蓋

A. 基本資料

壓力槽頂蓋(Vessel Head)形狀為一個有凸緣的半球形，反應器壓力槽是由反應器壓力槽本體及壓力槽頂蓋所組成。壓力槽頂蓋的材料為 ASME SA 508，底部直徑約 5.7 m、高度約 2.9 m、厚度是約 95 mm(3.75 in)、總重量 57.4 MT (如圖 6-7)。

壓力槽頂蓋，頂蓋上有三個凸緣式的噴嘴，分別做為頂蓋噴洒冷卻、排氣及水位儀器與備用儀器之用。

頂蓋內表面因經常曝露於高乾度的蒸汽中，較不易腐蝕，所以，頂蓋的內表面沒有內襯不銹鋼，而頂蓋的凸緣面則有不銹鋼覆焊。

B. 切割規劃

壓力槽頂蓋是反應器壓力槽拆除時，第一個執行切割作業的組件。使用 68 支螺栓(螺栓直徑約 140 mm[5-1/2 in]，長約 1,550 mm[61 in])將壓力槽頂蓋固定於壓力槽頂部，須先拆除位於凸緣上的 68 支螺栓。然後將壓力槽頂蓋吊起，放置於反應器廠房五樓地板上。

如壓力槽頂蓋的活度較低時，可在空氣中切割，但需搭建臨時帳棚，並配備有空氣過濾系統。在切割之前可先進行除污工作，以降低人員之工作輻射劑量及空浮濃度。

拆除方法可採用機械式或熱切割技術，機械式切割可使用鋼鋸、帶鋸等機具，熱切割可考慮電漿火炬、氧乙炔火炬等。若使用氧乙炔火炬切割有不銹鋼覆焊層的凸緣面時，須先切外側的碳鋼(ASME SA 508)，再以熔融的金屬液來移除不銹鋼層。

壓力槽頂蓋的切割可採自動化遙控方式，或是人工手動方式。自動化

遙控方式的優點是切割過程可減少人員劑量，缺點需耗費時間進行設備的架設。若壓力槽頂蓋的活度相當低，經評估人員劑量後，可以採用人工手動方式進行切割。

壓力槽頂蓋的凸緣厚度較厚，建議先將壓力槽頂蓋切成兩部分，圓殼為上半部，凸緣為下半部，然後再分別予以細切。規劃壓力槽頂蓋的切割，應配合盛裝容器之尺寸做最佳化切割規劃。

(2) 蒸汽乾燥器

A. 基本資料

蒸汽乾燥器(Steam Dryer)，高度約 5 m、重量約 19.96 MT (44,000 lb)，如圖 6-8。蒸汽乾燥器下半部的封閉裙板(Seal Skirt)用於隔離乾蒸汽與濕蒸汽，封閉裙板直徑約 4.8 m、高度約 2.7 m、裙板由 6.35 mm 厚之不銹鋼板所構成。裙板上方有四道葉片組(Vane Bank)，葉片組外殼為厚度 6.35 mm 的鋼板，內部為蒸汽乾燥摺曲片(圖 6-9)。蒸汽乾燥器使用 304 不銹鋼材料。

B. 切割規劃

蒸汽乾燥器可能是第一個必須在水中執行切割拆除的反應器壓力槽內部組件，因為離爐心較遠因此活度相對較低。蒸汽乾燥器位於壓力槽之上半部，坐在壓力槽內壁的四只支撐托架上，蒸汽乾燥器有四只吊耳，可用於搬運吊裝。

可將蒸汽乾燥器吊運至乾燥器及汽水分離器存放池(Dryer Separator Storage Pool)中，以遙控方式進行水下切割。蒸汽乾燥器拆解的順序建議由上而下，由外而內。乾燥器及汽水分離器存放池的尺寸為長 12 m、寬 5.8 m、深度 7.6 m(圖 6-10)。

先拆解蒸汽乾燥器上半部的葉片組，葉片組的形式多為不銹鋼板，可使用機械式切割(如圓盤鋸、帶鋸等)或使用熱切割技術。須注意蒸汽乾

燥器為不銹鋼材質，因此，並不適合使用氧乙炔火炬。切割移除的葉片組可考慮使用超高壓減容處理。

考慮水下遙控切割之便利性，可使用輔助設備，如轉盤、機械臂等。可將被切割物置於轉盤上旋轉，機械臂則帶動切割工具移動，使用輔助設備可以簡化遙控設備之控制與操作。葉片組切割完成後，繼續切割下半部的封閉裙板，可參考葉片組所使用之切割工具。

(3) 汽水分離器與側板頂蓋

A. 基本資料

汽水分離器與側板頂蓋(Steam Separator and Shroud Head)其高度約 5 m、直徑約 4.7 m、重量約 36.26 MT (80,000 lb)，如圖 6-11 上半部為汽水分離器，共有 130 支，材料是 304 不銹鋼，外徑 324 mm (12.75 in)，每支長度約 2.3 m，汽水分離器頂部焊接橫向支撐桿(Tie Bar)用於保持彼此間之距離。汽水分離器底部焊接豎管(Stand Pipe)，130 支豎管為不銹鋼製作，豎管彼此間焊接橫向支架(Cross Bracing)作為支撐，豎管外徑約 141 mm(6 in)，焊接於側板頂蓋上。下半部為側板頂蓋，不銹鋼製的側板頂蓋是用來引導爐心水汽，迫使水汽通過頂蓋上方的豎管，再經過汽水分離器。安裝時使用 24 支有熱套筒的「T」型壓緊螺栓(Hold Down Bolt)，鎖緊在爐心側板的頂部。汽水分離器外側有兩圈螺栓環(Bolting Ring)，作為壓緊螺栓導引定位之用。

B. 切割規劃

先將汽水分離器與側板頂蓋吊運至乾燥器及汽水分離器存放池中，以遙控方式進行水下切割。可使用機械式切割，如圓盤鋸、帶鋸、液壓剪等。或使用熱切割技術，如電漿火炬等。

壓緊螺栓、橫向支撐桿及橫向支架等細鋼棒、細管件或薄鋼片，可考慮使用液壓剪予以剪切。

考慮汽水分離器的構造，所採用的切割概念，必須是從外往內，以及從上往下進行切割。壓緊螺栓及螺栓環拆除後，切割上半部的汽水分離器，可採用機械式鋸切或熱切割，在切割過程注意被切割管件的夾持及搬運。

(4) 頂部導板

A. 基本資料

頂部導板(Top Guide)其高度約 384 mm、直徑約 4.1 m、重量約 3.8 MT，如圖 6-12 頂部導板是一個圓盤形的結構物，由不鏽鋼板組成格子狀，作為核子燃料元件的橫向支撐與定位，鋼板厚度約為 9 mm。在爐心中間的每一個方格可容納四組核子燃料元件與一支控制棒，而在周邊的方格只能支撐一組或兩組核子燃料元件。在頂部導板的下方有凹座，用來作為儀器導管，能階偵測器等爐心儀器的定位。頂部導板是栓鎖於爐心側板上，並以定位點熔接螺帽。頂部導板位置接近爐心，在長期的中子照射下具有相當的放射性活度。參考本計畫第九章、一、(三)、2.節之評估，頂部導板屬於超 C 類放射性廢棄物。

B. 切割規劃

頂部導板需在水下進行切割，先使用金屬破碎機以放電加工的原理侵蝕去除熔接螺帽，拆除工作是在反應器壓力槽內部進行。

再將頂部導板吊運至乾燥器及汽水分離器存放池中，以遙控方式進行水下切割。可使用機械式切割，如圓盤鋸、帶鋸、液壓剪等；或使用熱切割技術，如電漿火炬等。在做切割規劃時應注意頂部導板表面幾何形狀變化，例如頂部導板表面有四個凸起方塊，採用機械鋸切時應避免切過這四個位置，以免刀具受到損傷。

頂部導板的放射性比活度較高，切割過程應注意碎片及切屑的收集，避免擴散或沉積於乾燥器及汽水分離器存放池中，增加工作人員劑量。此外，配合盛裝容器之尺寸做最佳化切割規劃，最佳化的目標是使切

割尺寸盡可能的大，以切割件能放入廢棄物容器為原則，也就是盡可能減少切割刀次、切割線長度、切割時間及切割件數量，目的是減少工作人員操作時間及劑量，減少切屑與其他二次廢棄物的產生，以及減少切割件的搬運處理。

(5) 燃料墊塊

A. 基本資料

燃料墊塊(Fuel Support)位於爐心底板之上方，其功能是用於燃料束的定位，為不銹鋼材質，其高度約 260 mm、最大寬度約 340 mm、重量約 44 kg，如圖 6-13 所示，共計有 97 件，全部重約 4.3 MT。

B. 拆解規劃

移除燃料墊塊參考核一廠程序書 701.13 之操作程序及使用工具(燃料墊塊抓鉤)，由於燃料墊塊體積較小，可直接裝入廢棄物容器中而不需要切割。

(6) 爐心底板

A. 基本資料

爐心底板(Core Plate)其高度約 560 mm、直徑約 4 m、重量約 5.3 MT，如圖 6-14 底板的厚度 50.8 mm (2 in)、外側環狀板厚度 25.4 mm (1 in)、底部的加強板厚度 19 mm (0.75 in)，全部為不銹鋼材質。爐心底板必須承載外圍燃料墊塊及外圍燃料元件的重量，因此，具有非常堅實強壯的構造。

在底板上有穿孔與定位銷作為控制棒導管，爐心儀殼及燃料座塊的橫向支撐與定位。爐心底板是用螺栓固定於爐心側板，螺帽經點鉀熔接加以固定。

B. 切割規劃

爐心底板需在水下進行切割，先使用金屬破碎機以放電加工的原理侵蝕去除螺帽焊點以允許旋開螺栓，或在螺栓鎖死的狀況下去除螺栓的頭部。再將爐心底板吊運至乾燥器及汽水分離器存放池中，以遙控方式進行水下切割。可使用機械式切割，如圓盤鋸、帶鋸、液壓剪等。或使用熱切割技術，如電漿火炬等。

(7) 控制棒導管

A. 基本資料

控制棒導管(Control Rod Guide Tube)主要提供控制棒的移動導引與定位，為不銹鋼材質，其長度約 4,063 mm、外徑約 275.5 mm、管壁厚度 3.8 mm、重量約 113 kg，如圖 6-15 所示，共計有 97 件，全部重約 11.0 MT。

B. 切割規劃

參考核一廠 703.6 程序書之操作程序及使用工具(控制棒導管抓勾)拆除控制棒導管，由於控制棒導管為中空管狀結構，適合採取減容措施，以減少其儲存體積。可將控制棒導管吊運至乾燥器及汽水分離器存放池中，以遙控方式進行水下切割。可使用機械式切割，如圓盤鋸、帶鋸、液壓剪等。或使用熱切割技術，如電漿火炬等。或是用強力擠壓設備達到減容之目的。

(8) 飼水噴嘴

A. 基本資料

飼水噴嘴(Feedwater Sparger)分成四組的噴灑管路，它們是裝在爐心噴灑噴嘴(Core Spray Sparger)的正上方，如圖 6-16 每組飼水噴嘴的弧長約 3.1 m、重量約 121 kg，飼水噴嘴管件為不銹鋼材質，管外徑為 141 mm、管厚為 9.5 mm (5" SCH.80)。飼水噴嘴連結一截熱套管(Thermosleeve)穿過反應器壓力槽爐壁，飼水噴嘴兩端為滑塊，可吸收

管件之膨脹。

B. 切割規劃

只要切斷飼水噴嘴與反應器內壁之間的管路，即可完成飼水噴嘴的拆除。須注意切割的空間狹窄，約只有 38 mm。可使用機械式切割或熱切割技術。

(9) 爐心噴灑噴嘴

A. 基本資料

爐心噴灑噴嘴(Core Spray Sparger)分成兩組呈鏡射方式放置，它們是由反應器壓力槽爐壁一直延伸至爐心側板內側，在爐心側板外側的爐心噴灑噴嘴其尺寸如圖 6-17，爐心噴灑噴嘴管件為不銹鋼材質，管外徑為 141 mm、管厚為 6.5 mm (5" SCH.40)，一組的重量約 250 kg。

B. 切割規劃

先要切斷爐心噴灑噴嘴與反應器內壁之間的管路，然後將爐心側板外側的管路切斷，可使用機械式切割或熱切割技術，或是鑽石索鋸進行切割移除，在移除過程中須注意切割的空間限制。殘留在爐心側板內的部分爐心噴灑噴嘴將與爐心側板一齊處理。

(10) 爐心側板

A. 基本資料

爐心側板(Core Shroud)的高度約 7.4 m、直徑約 4.4~4.0 m、重量約 32.2 MT，如圖 6-18，為不銹鋼板製成的圓柱體，板厚 31.7~38.1 mm (1.25~1.5 in)。爐心側板用於分隔兩股水流，分別是往上流動的爐心冷卻水流，以及從飼水環口及汽水分離器流出的往下再循環水流。是焊接於反應器壓力槽內的爐心側板支持板(Shroud Support Plate)上，而與壓力槽成為一體。爐心側板內部不同的內徑是用於放置頂部導板及爐心底板。參考本計畫第九章、一、(三)、2.節之評估，爐心側板屬於超 C 類低放

射性廢棄物。

B. 切割規劃

爐心側板其總高度為 7.4 m 無法將其整件移出反應器壓力槽，因此，可應用水下遙控切割及搬運技術，在反應器壓力槽內進行橫向的分段粗切，再將切斷的環狀切割段移往乾燥器及汽水分離器存放池中，做進一步的細切。

在反應器壓力槽內進行橫向的分段粗切，可使用機械式切割，如圓盤鋸、帶鋸、液壓剪等。或使用熱切割技術，如電漿火炬等。或是使用磨料水刀。

在進行分段粗切之前，可先以熱切割技術，如放電加工，在爐心側板上產生吊掛運送的安裝孔。分段粗切過程中，在爐心側板完全切斷前，應該在切縫處塞入楔形塊或其他處置(如吊掛)，使得上面的切割段能保持在原位，不致影響後續的切割進行，例如切割刀具的卡死故障。在做切割規劃時應注意爐心側板幾何形狀變化，例如焊接的轉角，採用機械鋸切時應避免切過這些位置，以免刀具受到損傷。爐心側板與噴射泵組件的連接管，在分段粗切過程中進行切斷。

對於高放射性活度的反應器部組件，切割過程應注意碎片及切屑的收集，避免擴散或沉積於乾燥器及汽水分離器存放池中，增加工作人員劑量。

(11) 爐心側板支持板

A. 基本資料

爐心側板支持板或稱為阻板(Baffle Plate)焊接於反應器壓力槽內壁接近底部處，另外，爐心側板支持板下有 12 支垂直的板柱，焊接於 RPV 底部。爐心側板支持板的重量約 6.9 MT，外型尺寸如圖 6-19，爐心側板支持板由英高鎳(Inconel)材料製作。

B. 切割規劃

在切割爐心側板時，一併切除小部分垂直的爐心側板支持板(高約 254 mm)，目的是盡可能的移除爐心側板支持板的平板上的物體，使得後續切割反應器壓力槽槽體時能有足夠的操作空間。大部分的爐心側板支持板將保留在反應器壓力槽底部，等待後續的切割處理。

(12) 噴射泵組件

A. 基本資料

噴射泵組件(Jet Pump Assemble)共計有 10 組，每組包括兩支噴射泵及一支升流管，每個噴射泵是由升流管、進口混流組件及擴散管組成。每組噴射泵組件高度約 5.8 m、重量約 1.2 MT，如圖 6-20 噴射泵組件由不銹鋼材料製作。20 支噴射泵擴散管焊接在爐心側板支持板上，另有升流管支架設備(Riser Brace Arm 或稱 Riser Brace Yoke)提供升流管側向支撐功能。

B. 切割規劃

在反應器壓力槽內對於噴射泵組件的底部，也就是噴射泵與爐心側板支持板的結合處進行切割，可使用機械式切割，如圓盤鋸、帶鋸等。或使用熱切割技術，如電漿火炬等、或使用磨料水刀。再將整組噴射泵組件移往乾燥器及汽水分離器存放池中，做進一步的細切。

(13) 反應器壓力槽

A. 基本資料

反應器壓力槽的總高度 18.5 m(含支撐裙板)、內徑約 5.13 m，槽壁由低碳、低錳鉬合金軋鋼製成的(ASME SA 533 Grade B class II)，槽壁厚度約 130 mm。為防止低溫腐蝕，壓力槽內壁及凸緣面都有一層 3.175 mm (1/8 in)厚的 309 不銹鋼覆焊層。各管口及凸緣使用低鎳鉻鉬合金鍛鋼(ASME SA 508 class II)。

再循環系統進出口及主蒸汽出口之鄰近區域，槽壁厚度約 194 mm、底蓋的厚度約 150 mm。

壓力槽是由鋼製支撐裙板來支撐，坐落於鋼筋混凝土基座上，壓力槽及支撐裙板的總重量約 370 MT。

在壓力槽上半部與外圍生物屏蔽之間安裝穩定器(Stabilizer)，允許壓力槽在徑向與軸向的熱膨脹，並抑制水平方向的振動，以防止地震與外接管路斷管時之噴射反應力。

壓力槽底部的正下方有一個約 50 mm (2 in)的排水管，作為壓力槽的洩水管路，同時有 97 支短管貫穿壓力槽底部，短管材料為英高鎳，短管內有長度約 3,683 mm (145 in)，外徑 152 mm (6 in)的 304 不銹鋼控制棒驅動殼(CRD Driver Housing)穿過。此外，還有 34 支的爐心儀殼(In Core Housing)穿越壓力槽底部，用於中子偵測儀器之安裝。

B. 切割規劃

反應器壓力槽具有高放射性活度，當反應器內部組件移除後，即可開始壓力槽的切割作業。

(a) 反應器壓力槽槽壁貫穿管路

反應器壓力槽槽壁周圍連結許多管路，大尺寸的有主蒸汽管、飼水管路等，小尺寸的有水位儀器、噴射泵儀器管路等，大尺寸的主要貫穿管路如表 6-10。槽壁的貫穿管路的切割可配合槽體的切割作業，當槽體由上往下實施分段切割時，可逐步降低水位以利作業執行。

這些管路的切割，可使用機械式切割或熱切割技術，或是鑽石索具(Diamond Wire Saw)。小尺寸管路在有足夠空間的狀況下建議可採用液壓剪切。

(b) 反應器壓力槽槽體

反應器壓力槽槽體(含支撐裙板) 總高度約 18.5m、總重量約 370 MT，

考慮後續的吊運及切割場地，無法將反應器壓力槽其整件移出爐穴(Cavity)再進行切割，又反應器壓力槽的外徑約 5.4 m，RPV 頂部的凸緣直徑約 6.4 m，加上槽壁四周的管路噴嘴，最大寬度約為 6.9 m，而乾燥器及汽水分離器存放池寬度為 5.8 m，受到乾燥器及汽水分離器存放池的空間限制，反應器壓力槽槽體無法先橫向切割成環狀，再移往乾燥器及汽水分離器存放池中做細切。因此，建議直接在爐穴執行反應器壓力槽槽體縱向及橫向之分段切割，依據反應器壓力槽切割段的輻射狀況，可考慮將切下的大型切割段移往乾燥器及汽水分離器存放池進行細切及包裝作業，或是直接在爐穴內切割成小型切割段。在反應器壓力槽切割槽體時先將反應器壓力槽內部充滿水，隨著切割的進行，水位將逐漸下降，目的是避免水經由切縫洩漏出去，也因此會有部分的反應器壓力槽槽體在切割過程中會曝露於空氣中。

反應器壓力槽槽體的切割，可使用機械式切割，如鋸切、銑削等，或使用熱切割技術，如電漿火炬、氧乙炔火炬等，或是使用磨料水刀。反應器壓力槽槽體與生物屏蔽之間的距離狹窄，約 50 cm，在選擇切割機具時應加以考慮，或是由反應器壓力槽內部向外切割，切割的尺寸應配合包裝容器，做最佳化切割規劃，切割時應避免切過管路噴嘴所在位置。

在進行分段切割之前，可先以熱切割技術(如放電加工)或機械式鑽孔，在反應器壓力槽槽體上產生吊運安裝孔，在切割過程用以保持切割段的穩定，以及滿足後續吊掛運送的需要。橫向切割過程中，在反應器壓力槽槽體完全切斷前，應該在切縫處塞入楔形塊或其他處置，使得上面的切割段能保持在原位，不致影響後續的切割進行，例如切割刀具的卡死故障。

(c) 反應器壓力槽底部

反應器壓力槽半球狀底部與支撐裙板以焊接方式連結，當反應器壓

力槽上半部的圓柱狀槽體完成切割移除後，開始反應器壓力槽底部及其貫穿管路的切斷作業。反應器壓力槽半球狀底部的形狀尺寸如圖 6-21。

反應器壓力槽底部有排水管、控制棒驅動殼及爐心儀殼等貫穿管路，這些管路的數量及尺寸如表 6-11，建議可採用液壓剪切斷小尺寸管路。這些管路可分為在反應器壓力槽內部及在反應器壓力槽外側兩部分。先將反應器壓力槽內部的管件以機械式切割(液壓剪)做局部的切斷，將管件高度降低至控制棒驅動殼的高度。隨即進行爐穴的除污清理，目的是清除在移除內部組件及反應器壓力槽上半部過程中，所沉積之切屑及碎片，並以高壓水柱清洗生物屏蔽及反應器壓力槽底部，以降低爐穴內的輻射劑量。

在反應器壓力槽外側的管件則在控制棒驅動室搭建鷹架進行切割作業，將外側管件局部切斷，使這些管件的突出量不超過支撐裙板的底板。控制棒驅動室的作業是在空氣中進行，因此，搭建鷹架時須注意工作人員之輻射劑量，而管件切斷的工作可以自動化遙控方式進行。

當壓力槽底部的貫穿管路切短作業完成後，可以拆除支撐裙板周圍的螺栓，將反應器壓力槽底部吊出爐穴做進一步的細切，包括反應器壓力槽槽壁、殘留的貫穿管路、支撐裙板，還有先前保留未切割的爐心側板支持板。若壓力槽底部的活度較低時，可吊運至反應器廠房五樓地板在空氣中切割，但需搭建臨時帳棚，並配備有空氣過濾系統。在切割之前可先進行除污工作，以降低人員之工作輻射劑量及空浮濃度。若反應器壓力槽底部的活度較高時，可考慮將反應器壓力槽底部吊運至用過核子燃料池進行水下切割。

(14) 水下切割作業注意事項

反應器及其內部組件因為鄰近核燃料中子的活化區，而擁有較高的輻射強度，在輻射防護的考量下，將盡可能採取水下作業。列出水下切割作業

的注意事項有：

- A. 切屑收集：切割過程會產生各種切割碎屑，因為切割方法的不同，碎屑的數量及大小也不相同。一般而言，電漿、水刀及放電加工產生的浮渣或切屑，因為顆粒細微而收集困難；而傳統的鋸切與銑削等機械方法的切屑顆粒較大相對而言較易收集。收集切屑的吸取口應盡可能靠近切割工具，以發揮最大的效果，可避免大量的碎屑擴散至水池的角落或縫隙中，造成日後清理的困難度。此外，切屑收集可能需要配合水質過濾系統一併考慮。
- B. 過濾系統：為確保池水表面的低輻射強度，以及水下工作過程中能有良好的能見度，需要過濾系統以維持爐穴內水質的活度與清晰度。對於會產生大量微小顆粒的切割方法(如電漿、水刀等)會需要大流量的水質過濾系統。此外，優良的過濾系統將可簡化工作完成後水池的清理作業。一些熱切割技術由於大量的熱能輸入，會使水蒸發成氣體，水氣會攜帶放射性物質造成空浮，因此，需要在水面上放置集氣罩來收集水氣，並通過空氣過濾系統進行排放。
- C. 切割刀具之載具：攜帶切割刀具的機械臂或主軸其結構應具有足夠之剛性，以確保切割過程具有良好的精度及重複性。此外，鋸切設備可能會因為設備本身或載具的剛性不足，造成操作不順暢或設備故障。
- D. 輔助機具及設備：搬運設備、工作台(旋轉盤)、監視系統、水下照明等。操縱遙控搬運設備，將切割件精準的放入容器內是非常重要的，有需要設計各種夾具及工具加以配合。架設工作台可以保護池底鋼板結構不受破壞，移動或旋轉的工作台則可以簡化切割載具之設計。監視系統及水下照明則用於監看工作的進行是否順利。此外，還需要在水池的適當位置放置格架，用於臨時放置各種工具、容器或切割件。
- E. 整合性測試：對所有的切割機具、系統與組件進行完整的試驗，被切割物件模型的全部或局部結構，均採用全尺寸進行測試，藉以準確描述出真實狀況。

2. 生物屏蔽

(1) 基本資料

生物屏蔽(Biological Shielding)可以降低來自爐心的中子及加馬射線強度，以保護進入乾井之維護人員，阻止加馬射線老化橡膠類等有機化合物，延長乾井內部構件及零件如電纜線外皮絕緣材料等的使用壽命；並可阻止中子射線活化乾井內部構件，變成放射源，影響人員在乾井之維護工作。

生物屏蔽的內部結構是以垂直及橫向的工字樑所構成，屏蔽表面用鋼板包覆，鋼板之間灌注混凝土。生物屏蔽為圓柱形結構體高度約 14.7 m、內徑約 6.3 m、外徑約 7.8 m(圖 6-22)。鋼樑及鋼板的材質規格為 ASTM A36(結構用碳鋼)，混凝土密度為 $145 \text{ lb/ft}^3 (2.4 \text{ MT/m}^3)$ ，估算生物屏蔽的工字樑及鋼板等鋼材重量約 176.7 MT、體積約 22.45 m^3 ，混凝土部分的重量約 487.7 MT、 203.2 m^3 。

(2) 切割規劃

在拆除生物屏蔽之前，先進行表面除污工作，可使用機械式工具(如鋼絲刷)或高壓水柱，以降低區域輻射強度，減少工作人員劑量。除污完成後進行生物屏蔽不同部位的鑽心取樣，以瞭解生物屏蔽內部混凝土的活化程度。

鑒於生物屏蔽的輻射強度，建議採用自動化遙控方式拆除，生物屏蔽的上半部與圍阻體之間的空間有限，建議由生物屏蔽內部向外拆(圖 6-23)。生物屏蔽的高度約 14.7 m，建議拆除過程由上往下進行。

一種拆除方式是在生物屏蔽內部放入工作平台，工作平台由支撐架及鋼板組裝而成。支撐架的高度可逐步降低。當工作平台架設完成，將自動化機具設備吊運至工作平台上，先使用機械式或熱切割技術切除生物屏蔽外部之鋼板，然後敲除生物屏蔽內部的混凝土，最後切割工字樑支柱，然後吊出機具設備及工作平台，改變工作平台支撐架高度後，在重新放入

生物屏蔽內繼續拆除作業。拆除切割過程在空氣中進行，可使用空氣過濾系統防止粉塵的擴散。

另一種拆除方式是採用鑽石索鋸，在生物屏蔽上鑽孔，或是利用生物屏蔽上現有之穿越孔，將切割鋼索穿過這些孔形成封閉迴路，連同混凝土、外部鋼板及內部鋼樑進行大體積的分割拆除作業。

3. 燃料池格架

(1) 基本資料

燃料池格架(Fuel Storage Rack)置放於用過核子燃料池中，當核能電廠之用過核子燃料自反應器退出後，均會先貯存於用過核子燃料池之格架內以待後續處理，核一廠一、二號機組用過核子燃料池各現有 14 組格架，貯存容量皆為 3,083 支(圖 6-24)。用過核子燃料池內格架主結構採用不銹鋼 304L 製作，以 L 型鋼、方管及平板組合而成，並安裝可吸收中子的「硼」或「硼/鋁夾板」，以確保用過核子燃料能維持在安全的次臨界狀態，格架的細部如圖 6-25 所示。

每組格架的長寬不盡相同，但高度相同，以格架 J 為例，長寬約 2.71 m x 2.55 m、高度 4.29 m (圖 6-26)、重量為 9.9 MT、容量為 272 格。以格架 J 為依據估算其餘 13 組格架之重量(表 6-12)，粗估 14 組格架的總重量約 131.7 MT。

(2) 切割規劃

格架的主要結構由厚度為 1.9 mm (0.075 in)之方管、平板及 L 型鋼焊接而成(圖 6-25)，鋼板厚度為 25.4 mm (1 in)，在輻射劑量許可的狀況下，可移出用過核子燃料池在反應器廠房五樓地板上進行切割，可採用機械式或熱切割技術，機械式切割可使用鋼鋸、帶鋸等機具，熱切割可考慮電漿火炬。

4. 拆除切割後清理作業

設備拆除：各種拆除或切割設備的除污及移除

現場清理：清理那些放置於現場的多餘雜項物件，如工具、吊索，夾爪、工作支撐架等；工作區的切屑蒐集及除污，如清空儲存池(切割池)中的水，清洗池壁的鋼內襯，並以機械方法清除固著污染。工作區的切屑蒐集及除污。

最後清理：空氣及水質過濾系統拆除，起重搬運設備拆除。

5. 廢棄物管理注意事項

- (1) 切割拆除作業應盡可能減少二次廢棄物，以及防止污染的擴散。
- (2) 切割拆除機具將於現場清理完成後進行除污清理，無法除污之機具則視為放射性廢棄物加以處理。
- (3) 依據輻射特性調查進行切割拆除規劃，以符合廢棄物分類包裝的要求。
- (4) 切割規劃應配合廢棄物管理設施的接收條件、運送動線及輻射防護要求，使現場拆除之廢棄物能順利運往廢棄物管理設施進行後續處理。

6. 安全作業程序

(1) 通風與過濾

在空氣中切割活化之機械系統、設備、組件，應在隔離帳篷內實施，隔離帳篷內應設置通風過濾系統，以防止污染空浮顆粒的擴散，帳篷內維持負壓狀態，進而確保氣流是流向隔離區內部。

在水下執行活化之機械系統、設備、組件之熱切割時，因為切割所釋放的熱量會使水氣化，而這些氣體會攜帶熱切割產生之微粒浮出水面；因此，在水面上方應設置一組集氣裝置，該集氣裝置應具有足夠之流量，以收集熱切割產生之氣體。

此外，在水下執行活化之機械系統、設備、組件之切割時，需設置碎片收

集與過濾系統用來捕捉切割碎片與保持水質透明度，並藉以減少水中的放射性物質，避免大量的輻射物質吸附在池壁上，增加岸上的工作人員的劑量。因為水下過濾系統的濾芯最後都將成為二次廢棄物，因此，設計過濾系統時應考慮減少濾芯使用量，例如採用可逆洗的過濾器以延長濾芯壽命。

活化組件中的生物屏蔽是由混凝土鋼板及鋼樑所組成，而混凝土的拆除與清理工作可能會產生大量的粉塵，相關的通風與過濾需求，請參考本章、二、(三)、6.節安全作業程序。

(2) 輻射防護

拆除切割具有強輻射之活化之機械系統、設備、組件，建議以水作為屏蔽，在水下以遙控方式進行切割作業。對於必須在空氣中進行的切割工作，需設置隔離帳篷，以防止切割過程造成污染擴散。同時盡可能使用自動化機具，或提供輻射屏蔽，以降低輻射劑量保護工作人員。

當工作人員進入隔離帳篷時，必須穿戴各式的防護衣及設備。在某些情況下，還應提供特殊的呼吸與空氣冷卻系統，使除役任務的執行能保持在安全及可接受的工作狀況下。

拆除混凝土結構(如生物屏蔽)的輻射防護需求，請參考本章、二、(三)、6.節安全作業程序。

(3) 職業安全衛生

所有除役現場之工作，除有其他特殊規定外，都需要配戴安全帽。

A. 墜落防護

對於那些工作高度超過 2 m 且有潛在墜落風險的工作區域，應採取防墜措施。可以使用背負式安全帶、安全繩索(生命線)、安全網、工作繩，以提供上升與下降時安全的保障，且自鎖系統可以防止工作人員在移動時失去控制而摔落地面。

B. 聽覺保護

執行混凝土清理與拆除作業的設備與機器，往往會產生高度的噪音。

例如：

- 遙控操作的碎石機：80 – 100 dB。
- 磨料噴射系統(磨料可能由文氏管噴出)：高達 110 dB。需要特別的聽覺保護，並在系統上安裝消音器。
- 吸塵裝置(有些系統使用文氏管)。

當某些區域劇烈的噪聲無法藉由其他方法降低時，其所曝露的噪音已超過法規的限制(例如 90 dB)，應戴上耳罩保護耳朵。

特殊的保護裝置可能包括耳塞、耳罩、個人護耳器或消音器。為了改善現場工作人員之間的聯絡，可以考慮採用量身定製的聽力保護裝置，包括頻率濾波器(可過濾出特定的頻率範圍)。

C. 熱效應的風險

在核設施除役時，最顯著的危害之一是吸入放射性顆粒，有可能造成體內污染，因此，不同的防護衣物及裝備的搭配組合，可以用來保護工作人員。當工作人員身著防護衣工作時，通常是從外部供應冷空氣來預防熱效應。在一些異常環境下的工作時間應該受到限制。特殊系統(安裝在過濾面罩上的獨立空氣系統，能夠對全罩式面具提供呼吸空氣，並對身體提供空氣冷卻)可能可以降低熱效應的風險。

D. 手及手臂的振動防護

核設施除役執行的某些活動，如混凝土結構的施工、拆遷與破壞等，將導致工作人員的手及手臂於振動下。手及手臂所遭受的振動會對健康造成影響，而出現所謂的「白手指(White Finger)」症狀，症狀包括：手指麻木、肌肉強度降低、肌肉疼痛與僵硬、骨骼與關節的實質變形，以及一些常見的身體不適。

E. 其他

除了前述所提項目外之其他安全危害，其預防措施可參考勞動部「職業安全衛生設施規則」(民國 63 年 10 月 30 日公布，民國 103 年 07 月 01 日修正。)，並配合核一廠作業程序書(包括 107.5「動用火種工作申請作業程序」、105「人員與設備安全」、117「工程發包作業審查、開標作業及驗收程序」等)中的相關規定。對於作業場所之有害氣體、蒸氣、粉塵等，可採取改善作業方法、縮短工作時間或採取其他保護措施等方式；對於熱切割作業(或動火作業)可採取必要的申請、管制、現場確認等方式，作為危害預防的措施。

(4) 電氣安全

用電的方法錯誤可能造成的危害，概括分為：A.人員感電；B.毀損物品；C.釀成火災；D.引起爆炸；E.設備意外動作。電氣危害的防範措施主要的有電氣設備接地、電氣火災的防止及電氣的安全管理。例如：在用電過程中，應避免由於人員疏忽、操作不當或電氣設備本身安裝不良等因素，造成人員觸電；定期檢查各種電氣線路及設備並維持良好狀況；當作業環境中充滿爆炸性粉塵、有機溶劑時，必須採取電氣防爆措施等。詳細資料請參考「職業安全衛生設施規則」第十章「電氣危害之防止」。

(5) 消防安全

電廠除役期間的廠房、系統、設備及各種作業，將依據「消防法」、「消防法施行細則」、「各類場所消防安全設備設置標準」或其他相關法規進行管理。

(三) 放射性污染之機械系統、設備及組件之拆除作業

1. 管路系統

(1) 大口徑管路切割移除

有關大口徑管路的各種切割技術的選擇，主要是考慮被切割管路及其周

圍的輻射狀況而定。對於高輻射區的管路，通常是使用可以快速在管路完成安裝的設備，並以遙控方式操作，讓工作人員可以在高輻射區進行非接觸式的操作。對於低輻射區的管路，則可以採用接觸方式進行切割。

軌道切割機(Orbital Cutter)或稱為蚌殼切割機(Clam Shell Cutter)對於大口徑管路的切割，是一種相對有效的機械方法。它們用於切割高放射性管路與反應器容器噴嘴是相當理想的，被切斷的管末端能有良好品質切割，當需要在管末端銲接管帽或其他物件將管路封閉時，可以減少額外的準備工作。

從輻射的角度來看，軌道切割機不像熱切割方法會產生放射性空浮或煙霧。同時它們可以快速安裝，操作人員也可以遙控操作工件的切削，從而避免不必要的劑量。刀具需要一定的安裝及操作空間，以允許刀具環繞管件移動進行切割。

從安全的角度來說，軌道切割機不會產生火焰或外加熱量，因此，在工作團隊中不需要設置防火觀察員。相較於熱切割設備，它們容易使用，也能快速完成操作訓練。但對於低劑量區的厚壁管件而言，軌道切割機顯得較不適當，其切割速度也低於電漿及氧燃料等熱切割方法。而軌道切割機架設時間也可能長於手持式熱切割的時間。

在某些情況下，鑽石索鋸可以作為軌道切割機的替代方法，例如不適合進行接觸性工作的場合，或者管路周圍沒有足夠空間可安裝軌道切割機，或管壁厚度超出軌道切割機的能力範圍。比起鑽石索鋸切割混凝土，鑽石索鋸應用於切割金屬是較少見的，且通常傾向於特定情況下使用，例如考慮輻射狀況或軌道切割機的能力不足以完成金屬切割時。

此外，電漿火炬切割同樣可以應用在管路移除上，包括使用手持式或軌道式電漿切割機。熱切割的工作效能常隨著管件尺寸而改變，而且工作環境如局限空間、工作高度等的影響也很重要。對於較大型管路，氧燃料切割往往較電漿切割會更有成效，雖然它會產生更多的煙霧，依據紀錄，氧燃料切割的效能可以達到 0.65 man-h/m。

(2) 小口徑管路切割移除

機械式管件剪切機是以剪斷方式來取代常見的往復式鋸切 (Reciprocating Saw)，剪切機適合於小口徑管路的切割，或是其他類似的小型支撐鋼架。這類剪切工具的優點是，比其他方法的管路切割機(例如往復鋸切機)可提供更高的工作效率，它不會產生的金屬屑或切削碎片這些二次廢棄物，同時也比其他設備更安全、更安靜。但其主要缺點是它的重量比鋸切機重；因此，很難在腰部以上高度加以使用(雖然可以吊掛在合適的支撐點上，或是吊掛在被切割的管路上)，而且它的重量也使得操作人員難以長時間持續使用。

可攜式往復鋸使用硬化的鋼鋸片，以機械式的往復動作鋸切金屬。這類工具的優點是不會產生煙霧，通常用於鋸切碳鋼、鋁或銅等軟金屬。往復鋸可以藉著夾緊工件，利用設備本身的重量，再往復地移動鋸片使其深入金屬。往復鋸可分為電動或氣動形式，切割的管件其直徑可達 300 mm，通常鋸切管徑 200 mm 需要 6~8 min 左右；一個簡單的經驗法則是，往復鋸一分鐘可以鋸斷 1 in 直徑的管件(以 Schedule 40 的管件為基準)。

(3) 管路系統拆除原則

- A. 污染的管路切割移除前應完成系統除污，有效減少工作人員的劑量。
系統除污部分，請參考本計畫第八章、一、(二)、2.節污染系統之除污規劃。
- B. 考慮現場空間輻射劑量，高輻射的管路系統優先移除。
- C. 管路切割移除前，先觀察現場環境，移除障礙及規劃動線等。
- D. 管路切割移除前，先卸除管路系統中的液體。
- E. 拆除或隔離管路系統中的大型組件，如閥、泵浦及桶槽等。
- F. 管路切割從外部向爐心進行切割拆除。

- G. 跨樓層的管路系統避免先移除較低位置的管路，儘可能由高層往低層開始移除。
- H. 高架管路先切割成較長的段落，然後垂放至地面後再細切。
- I. 管路切割尺寸須配合運送、包裝、後續除污、減容或處置等作業。

(4) 管路系統切割原則

依據前述之管路系統拆除原則，完成系統除污或環境除污，並清空系統內殘留的水，隨即拆除系統之主要設備，如泵浦、閥等，設備移除後以蓋板密封管口，待設備移除後開始管路切割作業，並依據管路尺寸、污染狀況及現場空間等條件選擇合適的切割機具。

- (5) 為防止污染擴散，拆除設備及切割管路時，應於地面鋪設保護層及架設隔離帳篷，以防止污染擴散。被拆除物件應裝入運送容器或加以包覆，運往廢棄物處理設施進行後續之處理。餘熱移除系統

核一廠餘熱移除系統(Residual Heat Removal System, RHR)設計上有兩個各自獨立的迴路(A 串及 B 串)，各迴路由二台水泵、一個加熱器、管路及相關隔離閥所構成(圖 6-27)，RHR 屬於反應器安全冷卻系統，其主要設計功能有反應器停機冷卻、低壓注水(LPCI)、抑壓池(Suppression Pool)冷卻及圍阻體噴灑等之熱移除功能。RHR 管路系統之主要設備如表 6-13 所示。餘熱移除系統在拆除之前應完成系統除污作業。

(6) 再循環水系統

再循環水系統(Recirculation Water System, Recir)，係由反應器壓力容器內的噴射泵、反應器再循環泵及其再循環迴路所構成，並分成 A 及 B 兩個各自獨立之迴路(圖 6-28)，藉由反應器再循環泵改變轉速，可以達到調整反應器熱功率的功能。再循環水管路系統之主要設備如表 6-14 所示。再循環水系統在拆除之前應完成系統除污作業。

(7) 主蒸汽系統

主蒸汽系統(Main Steam System, MS)是將反應器所產生蒸汽，經由四支主蒸汽管引導通過圍阻體進入汽輪機，讓反應器蒸汽轉變成機械能以驅動主發電機。主蒸汽系統是蒸汽系統的一部分，其他還包括：主汽機進汽閥、控制閥及旁通閥系統、汽水分離再熱器(MSR)與 MOPS、SCRUPS、汽機汽封系統、主蒸汽洩水系統及抽汽系統等(圖 6-29)，主蒸汽系統之主要設備如表 6-15 所示。

(8) 爐水淨化系統

爐水淨化系統(Reactor Water Clean-up System, RWCU)目的是藉著過濾及離子交換，清除輻射分裂產物、腐蝕產物及其它可溶性與不溶性的雜質，來維持反應爐冷卻水的水質。系統是連接再循環水系統及反應爐底部，使用泵浦將爐水打入加熱器，在圖 6-30 以虛線表示爐水淨化系統的路徑。爐水淨化系統主要的設備如表 6-16。爐水淨化系統多屬於 6" 以下小口徑管路，在拆除之前應完成系統除污作業。

(9) 緊急爐心冷卻系統

整個緊急爐心冷卻系統(Emergency Core Cooling System, ECCS)的設計概念為，事先準備大量的備用冷卻水，貯存於冷凝水貯存槽或抑壓池。一旦發生冷卻水流失事故時，不論破口的大小及系統壓力的高低，均有適當的方法將冷水灌入反應器。核一廠緊急爐心冷卻系統包含高壓注水系統(HPCI)、爐心噴灑系統(CS)及餘熱移除系統之低壓注水模式(LPCI 模式)共三種注水系統，其主要管路如圖 6-31，高壓注水系統及爐心噴灑系統的主要設備如表 6-17 及表 6-18。其中餘熱移除系統，請參考本章、二、(二)、1.(4).節介紹。

(10) 用過核子燃料池冷卻系統

用過核子燃料池冷卻系統(Spent Fuel Pool Cooling System, SFPCS)用於淨化及冷卻用過核子燃料池的池水，因為歷年來從反應器移出的使用過核子燃料元件，都是存放於用過核子燃料池中，由於這些用過核子

燃料具有高輻射的放射性與衰變熱，需要依賴用過核子燃料池中的池水加以屏蔽與冷卻，而池水吸收熱量後溫度升高，就需要冷卻系統來加以冷卻。此外，此一冷卻系統還有池水淨化功能，除了減低水中的腐蝕產物與放射性濃度外，還可提高池水能見度，以利燃料元件在水中之搬運作業。其主要管路如圖 6-32，用過核子燃料池冷卻系統的主要設備如表 6-19。

2. 大型桶槽

核電廠內的大型桶槽是指那些無法整件移除，必須在現場進行切割及包裝者，整理核一廠廠房內外有輻射污染的大型桶槽如表 6-20 所示。

拆除桶槽有關的切割技術、拆除程序及拆除作業輻防管制等，必須符合輻射防護導則，以及合理抑低目標等相關要求。若桶槽表面之油漆成分如果含有鉛金屬，拆除工法及防護措施必須確保在低於鉛金屬的容許曝露濃度 (Permissible Exposure Limits , PEL) 之環境下工作。

拆除桶槽時必須考量之因素如下：

- 空間限制(接近路線、與周邊結構物空間)
- 內部污染(可能需要先除污，並採取塗漆等污染固著方式)
- 位置(廠房外、廠房內)
- 尺寸大小(高度、直徑)
- 桶體厚度、材料(切割工法選擇與限制)
- 其他有毒物質(如含鉛油漆必須先去除，或將限制切割方式)

拆除高污染、高輻射之大型桶槽可先執行除污，以降低污染及輻射劑量率，尤其是須注意清除沉積於桶槽底部之淤泥。若需要工作人員進入桶內工作，如進行內部塗漆以固定鬆散污染，必須建立高效率過濾器(HEPA)通風系統。

(1) 切割技術

切割技術可選擇熱切割方式，如電漿、氧乙炔等皆為成熟之技術。熱切割優點為切割速度快、操作便利、使用普及；缺點為可能造成空浮、火災危害、必須使用高壓鋼瓶。桶槽為碳鋼材料，可選用氧丙烷火炬切割，優點是產生較少煙塵，氣體鋼瓶須放置於清潔區，工作人員須穿著防火工作服。桶槽為不銹鋼材料，可選用電漿火炬。為防止空浮擴散須建立隔離帳篷，帳篷內必須維持負壓，排風經 HEPA 後導入廠房通風系統。

切割技術也可選擇冷切割方式，如研磨、鋸切、特殊設計切割機械等，亦為成熟技術。優點為較無空浮疑慮、無火災危害、可遙控操作；缺點為架設時間長、設備相對昂貴。部分桶槽內襯塑膠材料者，可能不適用高溫切割作業，則必須先去除其內襯易燃物，或改用低溫機械式切割工法。

若桶槽曾經儲存過易燃物不適合採用熱切割方式者，可以考慮採用磨料水刀進行切割。

(2) 拆除程序

主要討論以熱切割方式拆除大型桶槽的拆除程序，可分為由上而下及由下而上兩種程序。

由下而上的切除方式，是在桶槽頂部建立吊掛裝置，由桶槽底部開始切割拆除，然後降低桶身持續切割動作。其優點為：可以減少大量工作鷹架搭建費用；工作人員主要在地面工作，降低高空作業之安全疑慮；且帳篷搭建及負壓通風系統建立較容易。桶槽下降可以採用多節式油壓升降系統取代大型鋼構、鋼纜及絞盤，油壓升降系統應可安全支撐桶槽重量，再配合機械式支撐導引系統，應可滿足工業安全需求，且油壓升降系統可重複應用在不同尺寸桶槽，應可以節省大量經費。

由上而下的切除方式，則是在桶槽周圍搭建工作鷹架，並搭建帳篷包裹整座鷹架，較適合小型桶槽或矮胖型之大型桶槽。優點為：不需要額外的升降系統。

在眾多有污染之大型桶槽中，挑選兩類較特殊的桶槽，作為切割規劃範例，一是桶槽內部塗佈有人造樹脂，另一是桶槽被埋入混凝土中。

(3) 廢漿槽

A. 基本資料

廢漿槽(Waste Sludge Tank) (TK-18-1A)位於聯合結構廠房 B1 的 B32 房間(如圖 6-33)，用於廢水污泥之收集，重量約 8.3 MT、直徑 3.93 m、長度 7.5 m(如圖 6-34)、桶壁厚度 9.5 mm (3/8 in)，桶壁為碳鋼材質，內壁塗佈一層環氧樹脂(Epoxy)，外壁塗有含鉛底漆。

B. 切割規劃

拆除前準備工作包括：清理房間並在地板上覆蓋保護用塑膠布，以防止污染的擴散。將拆除工具(各式冷切割或熱切割工具)運入房間內。接著安裝輔助設備與工具，如臨時電源、移動式通風過濾裝置、拆除用平台或鷹架、移動式起重機等。在桶槽與管路準備切割的位置畫上標線，同時檢查受影響的閥件並確定它們的位置正常。

拆除工作包括：連接房間的舊電纜予以隔離與切斷，將被拆除物料加以包裝並標示。檢查桶槽內是否有剩餘的水，並予以清空。檢查桶槽內是否有任何異物，並進行採樣。

桶槽切割時應考慮外壁塗有含鉛底漆及內壁塗佈有 Epoxy，因此，不適合採取熱切割方式，將桶槽切割成適合裝入運送容器或廢棄物容器的尺寸，或用塑膠布包裹，運送至廢棄物處理設施。

最後清理工作包括：移除輔助設備與工具，清理拆除後的房間，運走剩下的廢棄物容器，最後再進行輻射調查。

(4) 溢流緩衝槽

A. 基本資料

兩只溢流緩衝槽(Skimmer Surge Tank) (TK-31-1A, TK-31-1B)的位置在反應器廠房 5F，介於反應器爐穴及燃料池之間(如圖 6-35)，並埋入混凝土中，二只溢流緩衝槽彼此連通，用於盛裝大型機件沉入燃料池或反應器爐穴時溢出的水。桶槽直徑 1.8 m、高 6.83 m (如圖 6-36)、桶壁厚度 6.35 mm (1/4 in)、重量 3.0 MT。桶壁外側有許多短鋼棒，當桶槽埋入混凝土時，短鋼棒發揮錨定的效果，使桶身與混凝土間不會產生位移。

B. 切割規劃

拆除前準備工作包括：清理地板並搭建臨時帳棚以防止污染的擴散。將拆除工具(各式冷切割或熱切割工具)運入帳棚內。接著安裝輔助設備與工具，如臨時電源、移動式通風過濾裝置、拆除用平台或鷹架、移動式起重機等。當桶槽完成除污處理後，在桶槽與管路準備切割的位置畫上標線，同時檢查受影響的閥件並確定它們的位置正常。

桶槽為不銹鋼材質因此建議採用機械式鋸切工具，如鑽石索鋸或圓盤鋸等，切割時將桶壁與四周之混凝土一齊切除，切割程序是由上往下鋸切，將桶槽切割成適合裝入運送容器或廢棄物容器的尺寸，或用塑膠布包裹，運送至廢棄物處理設施。

最後清理工作包括：移除輔助設備與工具，清理並拆除臨時帳棚，運走剩下的廢棄物容器，最後再進行輻射調查。

3. 大型設備

除了反應器壓力槽外，還有一些其他的大型組件，具有較高的輻射劑量率，在進行切割拆除作業時，應採取特殊的措施，以有效減少工作人員的輻射劑量。拆除大型設備採用之切割拆除技術，請參考本章、二、(一)、1.節介紹。

(1) 主冷凝器

A. 基本資料

兩座主冷凝器(Main Condenser)位於汽機廠房一樓(標高 39.83 ft)，設備編號分別為 E-7-1A 及 E-7-1B，個別的尺寸及重量為：長 1,970 cm、寬 870 cm、高 1,510 cm、重量 438.6 MT(如圖 6-37)。

B. 切割規劃

冷凝器通常是一個形狀複雜的物件，且同時伴隨著輻射問題。因此，冷凝器的拆除方法需要在詳細審視其構造後做出決定。通常，工作將在一個污染控制區(帳篷)內進行。

主冷凝器在能量轉換過程中，工作流體是在冷凝管的外側流動，將造成管外部的污染。在進行拆除前應先執行輻射偵測，視污染狀況採取適當的程序。有一些冷凝器的拆除程序，是經由鑽孔或管端頭的切除，從主冷凝器中單獨的抽出冷凝管，若冷凝器僅有輕微的污染，允許直接處理或運送。若冷凝管有嚴重的污染，則將它們單獨抽出後裝入一只塑膠管(聚乙烯)內，以防止污染擴散。切割時將由塑膠管中抽出冷凝管，切成一定長度進行包裝。這是一個費時費力的過程，但可以與汽機廠房內的其他工作平行執行。一旦清空冷凝管後就可以切割冷凝器外殼。

如果冷凝器的設計無法個別地去除冷凝管，可以從冷凝器頂部的合適工作面開始拆除，將外殼與管件一起逐步的移除。工作面將需要以帳篷包覆。

(2) 反應器再循環泵

A. 基本資料

兩組反應器再循環泵(Reactor Recirculation Pump)位於乾井一樓(標高 25 ft)，設備編號分別為 B31-C001A 及 B31-C001B，個別的尺寸及重量為：長 2.35 m、寬 1.80 m、高 5.30 m，重量達 28.4 MT(如圖 6-38)。再循環泵的電動馬達高約 3 m、重約 12.0 MT，泵浦重量約 11.9 MT，馬達安裝座重量約 4.4 MT。

B. 切割規劃

移除作業先是以手動拆解連結泵浦的電動馬達，然後以機械式或熱切割技術將泵浦與管路予以分離，為防止污染擴散，在切割管路及拆除泵浦時，應於地面鋪設保護層及架設隔離帳篷。將泵浦予以適當的封裝後，運送到廢棄物處理設施進行後續處理。

泵浦的後續處理可能有兩種方式，若有合適的廢棄物容器，可考慮直接放入整組泵浦，不需要進行細部分解及切割。或是需要細部拆解，則拆開泵浦將轉子移出，對於轉子與泵浦外殼內部的大部分污染，可使用噴塗式洗滌劑進行除污，以除去表面的附著污染層。使用機械式切割工具(如帶鋸機)將泵浦的厚壁外殼粗切分成兩半，配合廢棄物容器之需求再將細切外殼。泵浦的轉子(污染可能高達泵浦外殼)使用機械式切割工具切成若干段，由於轉軸經過硬化處理，因此，需要較長的切割時間。

(3) 汽機

A. 基本資料

汽機(Turbines)位於汽機廠房三樓(標高 73.83 ft)，包括一部高壓汽機及兩部低壓汽機串接在一起，體積及重量如表 6-21，汽機外型尺寸如圖 6-39。

B. 切割規劃

在拆除汽機過程中，將依循維護的程序，也就是盡可能確定能使用最熟悉的方法。在汽機開始拆除之前，提供合適的汽輪葉片支撐架(如大修期間所使用者)。

低壓汽機外殼按照維修程序移除，移除外殼上的絕熱材料。低壓汽機外罩經切割處置，運往廢棄物管理設施。任何曝露的附屬設備與包裝都將被移除，經由廢棄物管理設施加以處置。

高壓汽機外殼由碳鋼鑄成，水平切成上下兩半，按照維修程序解除高壓、低壓汽機之間聯軸器的連接。在現場移除高壓汽機外殼的上半部，如果可能的話，是放在指定的位置上，在監控下進行除污。現場加以局部隔離，並將外殼切割成適當的尺寸。

高壓汽機轉子在密封包裝與移除/轉運到指定的放置區域之前，必須在經過輻射調查與除污。再從這裡，高壓汽機轉子運送到廢棄物管理設施進行適當處置。

低壓汽機轉子按照維修程序解除低壓汽機之間聯軸器的連接。低壓汽機轉子在密封包裝與移除/轉運到指定的放置區域之前，必須在經過輻射調查與除污。

汽機下半部外殼將根據需求及安全考量，分別由上方與下方加以支撐，切割移除汽機下半部外殼。在移除下半部外殼時，與下方冷凝器的連接應暫時密封。切除的片段轉運到廢棄物管理設施，且任何地板上的穿透孔應加以修補。

(4) 發電機

A. 基本資料

發電機(Generator)位於汽機廠房三樓(標高 73.83 ft)，與低壓汽機串接，外型尺寸如圖 6-39。

B. 切割規劃

如果發電機沒有到達重大污染的程度，而且在發電結束後有進行定期的轉動，則汽輪發電機組可能會有銷售市場。如果發電機被認為處於可銷售情況下，將完整的進行移除，雖然預期它會超出廠房安裝起重機的能力，移除工作有可能需要使用外部的移動式起重機，並在汽機廠房牆上挖個新開口。但為了保守起見，下面章節是概述將發電機視為廢料的處理方法。

如果將定子完整的搬動，經由廠外的金屬回收商加以分割，為了減輕主要組件的吊運重量，轉子將被移除以便於處理發電機定子，吊運時也不需要將轉子加以固定。如果切割將在汽機廠房進行，移除轉子可使切割更加容易。理想的情況下，使用正規的操作維護程序將轉子移除。

首先，從發電機上移除任何剩餘的輔助設備(勵磁器)與系統連接。在拆除外部包覆之後運往放置區，經過輻射調查之後切割成適當的尺寸進行處置或外釋。

(5) 飼水加熱器

A. 基本資料

飼水加熱器(Heater)共有 12 個，其重量及外部尺寸如表 6-22，12 個加熱器其外觀如圖 6-40 所示，12 個加熱器置於汽機兩側，其布置情形如圖 6-41 所示。

B. 切割規劃

首先在工作區搭建隔離帳篷及通風系統，藉著吊車的協助拆除高架管路及加熱器。先將高架的管路切成較長的段落，然後降至地面上進一步切割。將管路細切成適合裝入運送容器或廢棄物容器的尺寸，或用塑膠布包裹，運送至廢棄物處理設施。加熱器所在位置的地板上，視需要鋪上鋼板，以增加有用的地板面積。加熱器在現場切割裝入運送容器或廢棄物容器，或用塑膠布包裹，運送至廢棄物處理設施。

另一種選擇是整體移除，將加熱器的管口完成密封後，移至儲存區放置並不細切。還有一種是在加熱器內部灌注水泥，以固定熱交換管及污染，再以鑽石索鋸切割成大塊的廢棄物。

(6) 主變壓器

A. 基本資料

核一廠一、二號機組之設計額定出力各為 636 MWe，發電機發出電力經由汽機廠房外之主變壓器提昇電壓後，再經開關場 345 kV 輸電線路輸出至電力系統。主變壓器外型尺寸如圖 6-42。主變壓器位於汽機廠房之外，屬於無放射性污染之設備，但其具有龐大的體積及重量。

B. 切割規劃

主變壓器係採強制油循環風扇冷卻，循環絕緣油經油路完成冷卻功能後，回流至收集油槽中。在拆除變壓器之前，須將集油槽中的絕緣油排出，然後使用移動式起重機依序拆除變壓器頂蓋及內部鐵芯疊片，再用火焰切割機具或機械式鋸切切割移除外殼及切換開關。另一種可能的作法是排出絕緣油，減輕主變壓器的整體重量，以便將主變壓器整件移除或大部拆解後予以移除。

4. 一次圍阻體

(1) 基本資料

一次圍阻體系統包括乾井及抑壓槽，形成圍阻屏障(Containment Barriers)包容反應器的分裂產物與放射性物質，防止其外洩，以降低核能事故的衝擊，一次圍阻體內側為厚度不同的內襯鋼板組成，外部為混凝土結構(圖 6-43)。內襯鋼板厚度約在 20~60 mm 之間，鋼板與混凝土結構間保持約 50 mm 的距離。

(2) 切割規劃

一次圍阻體的切割是針對乾井內襯鋼板及抑壓槽的切割拆除，而混凝土結構則於拆除聯合結構廠房時一併考慮。在拆除內襯鋼板及抑壓槽之前，先進行表面除污工作，以降低區域輻射強度，減少工作人員劑量。

建議拆除過程由上往下進行，利用乾井及抑壓槽的樓層地板結構，或是架設工作平台，可使用機械式或熱切割技術。由於拆除切割過程在空氣中進行，應使用空氣過濾系統防止粉塵的擴散。

5. 管路、設備及組件拆除後之除污作業

拆除作業進行前之管路、設備及組件內部的除污，目的是減少輻射物質，降低人員執行拆除工作所接受之劑量。而拆除作業完成後所進行之除污，目的是將表面污染之管路、設備及組件進行清理，使物料達到有條件外釋或無條件外釋的標準，常見的除污方法可分為化學、電化學及機械方式。各種除污方法產生之二次廢棄物其處理方式，請參考本計畫第八章、一、(三)節。

(1) 化學方式

化學方式是將物料浸泡在溶液中，使用稀釋或高濃度的各種化學試劑來處理污染表面，以溶解金屬基底或其表面的污染層。化學除污技術主要可分成三大類：A.螯合作用；B.酸性或鹼性溶解及 C.氧化還原反應。

(2) 電化學方式

電化學處理金屬廢棄物的表面污染，是將鋼料放入電解槽中並作為陽極，通以直流電而產生陽極的溶解，此程序又可稱為電解拋光 (Electropolishing)；其優點是處理快速且可靠度高，若能將電解液作有效的回收再利用，可使二次廢棄物的產量最小化。電化學除污技術僅能用於具導電性的表面，技術之限制為電解槽的體積、待處理表面的幾何形狀及清潔度的要求。電化學除污技術無法應用在具有複雜幾何形狀之表面。

(3) 機械方式

大口徑管路或設備外殼以機械方式進行表面除污。通常是採用磨料噴砂除污技術，可建立大型帳棚防止污染擴散，並於除污完成後進行輻射偵檢。此外，無論是以化學或機械方式完成大面積除污後，對於部分殘留的熱點，將採用研磨、刨刮或銑削等機械方式加以移除。

6. 廢棄物管理注意事項

有關廢棄物管理注意事項，請參考本章、二、(一)、7.節介紹。

7. 安全作業程序

有關通風與過濾、輻射防護及工業安全等，請參考本章、二、(一)、8. 節安全作業程序。

(四) 放射性污染之廠房結構之拆除作業

核一廠放射性污染且需要拆除之主要設施有：聯合結構廠房(一號機及二號機)、汽機廠房(一號機及二號機)、廢氣廠房(Off-gas Building)等。

由於放射性廢棄物數量多寡對於核設施除役的成本具有舉足輕重的影響，因此，儘可能降低放射性廢棄物數量，可以減少後續處理及處置成本。而在廠房拆除作業中需要處理的材料主要是鋼鐵及混凝土，其中所產生之混凝土又佔廢棄物大宗，除了少數接近反應器之廠房結構受到中子照射而活化，也有部分混凝土表面受到污染，但絕大多數的混凝土材料屬於無放射性物料。

廠房拆除由初始的特性調查一直到廢棄物安定化，過程中所有的除污與拆除活動，對於成本與整體除役專案規劃有著重大的影響。雖然建築物的污染量(總活度)是可以預測的，但是選用不同的拆除與除污技術卻會明顯的影響污染物的總產量。例如，若一棟受污染的建築物，所有碎片都被認為是污染及需要特殊處理，則完成拆除後需要處置的廢棄物將極為龐大。反之，若能先使用表面移除技術，有限的移除污染物的表面材料，隨後可以執行傳統的正常拆除。在這種情況下，廢棄物的體積受到控制，將有助於降低除役成本。

拆除程序的選擇需要考慮的重要議題包括：二次廢棄物的產生、污染的圍堵、安全的問題，以及技術的產能與可靠性。通常，必須特別考慮到不會造成不可接受的損害，特別是建築物的穩定性。參考以往的案例，將依據個案考慮各種技術的優缺點，而選擇合適的拆除或除污技術。由於沒有一體適用的技術，因此，通常需要將各種不同技術予以組合應用。

1. 建築物除污技術

當建築結構進行除污時，首先考慮是採用機械式表面移除技術。表面移除技術使用時機包括：未來建築物可能需要再利用，或結構拆除是不可行的(例

如在一幢大廈內的實驗室)，或儘量減少廢棄物的體積。下列所述的除污技術將考慮經由不同深度的表面污染移除，來減少污染物的處置總量。

在任何表面清潔或表面鏟除動作開始之前，表面的前置作業與安全預防措施是必要的。要處理的表面必須是無障礙的(如拆除或切斷橫互表面的管道及支架)，表面移除作業過程中應使用真空抽氣裝置，以儘量減少空浮污染的釋放。此外，當某個需要處理的區域內包含有可燃物時，則必須採取防爆措施將所有可燃物予以中和、穩定或移除。同時應考慮這些表面移除技術使用時，可能產生的工業危害，以及這些危害所造成的潛在破壞。

最後，污染表面被移除的部分，也就是那些污染的碎片必須加以收集、處理或處置。在拆除過程中所使用任何液體(無論是移除程序所需或是用於粉塵控制者)都必須處理或回收。在污染物穿透表層材料的情況下(例如裂縫、金屬嵌入件與穿牆管)，可能需要做進一步的處理。

除役常見之混凝土表面除污技術，請參考本計畫第八章、一、(二)、3.節。

2. 廠房基本資料

(1) 聯合結構廠房

聯合結構廠房長寬各 65.53 m (215 ft)、高 56.81 m (186.37 ft)(地下 12.39 m，地上 44.41 m)，如圖 6-44 所示。中央部份是反應器廠房，外圍是輔助設備區、廢料處理廠房、柴油發電機系統、控制室，北側出入管制區與服務大樓，二次圍阻體卡車雙重門、凝結水儲存槽、日用油槽、酸鹼槽等附屬設備區，西側連接汽機廠房。

聯合結構廠房可分為地下兩層及地上五層，各層之混凝土結構其體積統計資料如表 6-23。聯合結構廠房混凝土結構總體積 51,489 m³。

(2) 汽機廠房

汽機廠房南北向長 85.04 m(279 ft)、東西向寬 53.04 m(174 ft)、高 45.1 m (147.96 ft)、地下 14.58 m、地上 30.57 m，內有主汽機、發電機與其附屬

設備、冷凝水泵、飼水泵及飼水加熱器等，如圖 6-45 所示。

汽機廠房可分為地下一層及地上兩層，各層之混凝土結構其體積統計資料如表 6-24。汽機廠房混凝土結構總體積 26,536 m³。

3. 廠房拆除作業

廠房的拆除作業分為以下幾個步驟：

(1) 廠房內部清理及準備

廠房內部的清理項目，包括：

- 排水與處理運轉用液體。
- 處置運轉廢棄物。
- 處置任何剩下的儲存化學品。
- 處置多餘的備份零組件。
- 在電廠內進行一般的現場清理動作，去除任何多餘的物料、備品等，它們可能存放在電廠的各個空間內。

廠房內安裝新的獨立除役電源供應，使用非標準顏色的電纜線(橙色/黃色)以取代運轉時所用的電纜。若部分舊電纜經確認為必要的，且在此一階段無法加以取代及移除者，將噴漆塗上相同的顏色。除役電源將繼續提供電力給那些需要保持運轉的裝置，至於廠房內原有的多餘系統將予以斷電並移除。

當拆除專案準備要廢除原有的通風系統時，如有需要得設計並安裝一個新的獨立通風系統。

展開廠房內的輻射特性調查及輻射清理，盡可能減少工作人員的劑量，除了確認輻射熱點，也要對有害物質進行調查。

(2) 廠房內廢棄物拆除

廠房內廢棄物拆除係指除了廠房建築物(混凝土)結構以外的所有物件，例如電力系統、消防系統、照明系統、供氣系統、通風系統、不影響結構之鋼構(如鐵梯、鋼製格柵地板)等。

採用房間到房間的方式來拆除與清除廠房內的廢棄物，其順序是盡可能先處理那些易處理的無輻射之廢棄物，再往較難處理的廢棄物發展。這種方法將允許操作人員從經驗中學習並獲得進步，也可儘量減少高污染物料對於清潔或低放射性廢棄物發生交叉污染的任何可能性。

廠房內剩餘的系統設備的拆除作業，是逐層從上往下開始，對於跨樓層的管路系統應避免先移除較低位置的管路。然而，也有可能由污染系統的數量較少的樓層先開始移除，目的是在真實的工作環境中，熟練各種拆除工具的現場使用。

將從遠離進入點(入口)的開放空間開始執行系統設備的拆除。採用的拆除原則及管理目標，如下列程序：

- A. 拆除無污染的物件，先由大物件開始隨後是小物件，但有三個例外：
 - 所保留的系統與設備可以用於後續的拆除作業；
 - 會讓執行拆除之操作人員接受到劑量(因為鄰近輻射源)，而不符合ALARA者得優先加以拆除；
 - 屬於建築物結構者的得以保留。
- B. 移除有微量放射性的廢棄物與容易除污的物品，從大物件開始然後是較小的物件，同時避免操作人員暴露在無法接受的輻射環境下。
- C. 移除放射性稍高之廢棄物，從大物件開始然後是較小的物件。

在所有設備移除之後，可以對於位置較高的區域進行除污，這些區域是現有的起重機或高空平台可以接近的。然後移除使用中的吊車，以及樓梯、平臺與其他剩餘的物件，例如先前被保留的設備。

接著對於建築牆壁與地板，可以開始使用適當的除污技術，有關建築物除污技術如下節所述。最後，再進行一次調查，以確認每個工作區無放射性與其他物質危害存在，確保廠房的拆除可使用傳統的拆除技術，建築物拆除相關技術，請參考本章、二、(三)、2.節。在調查期間，

若有需要將進行除污補救。

(3) 最後的清理

只要橋式起重機還存在，設備移除及一般現場清理作業可以保留到最後執行；在這一階段會提供臨時電源，用於照明或其他的需求。

在所有設備移除後，執行放射性與危險物調查確定區域的清潔，並標示出建築物/地板表面的所有殘留污染。將使用混凝土或鋼材的除污方法來去除污染，一旦該地區被確認為完成除污後，鋼製走道與平台等將被移除。

起重機有許多移除方法取決它們將要如何被設置。如果它們會被重新使用，它們可以通過在汽機廠房牆壁的開口，延伸起重機軌道，用於汽機廠房之外。如果它們要報廢，可以使用千斤頂垂降到汽機廠房的地板上切割成合適地大小。另外，也可以爆破拆除橫梁兩端後，讓其墜落地面再進行後續切割。類似的方法也可能用於汽機廠房起重機。

當廠房建築物內已完成清空時，即可採用傳統的拆除機具及設備進行混凝土結構的拆除。

4. 廢棄物管理注意事項

有關廢棄物管理注意事項，請參考本章、二、(一)、7.節介紹。

5. 安全作業程序

(1) 通風與過濾

混凝土的拆除與清理工作會產生大量的粉塵。除了輻射危險外還有吸入放射性顆粒的風險，此外，還有一些「傳統的」安全議題，如工作區的能見度降低、粉塵爆炸及吸入氧化矽微粒等也應加以考慮。通風與過濾系統的設計及安裝，目的是要防止污染空浮顆粒的擴散，因為這些顆粒被人吸入，會對人員造成輻射危害。但經由通風過濾系統的捕獲與包裝，使顆粒可以安全地處理與處置。無論是運轉中或除役中的核設施都有這種

通風過濾需求，其他可能的附帶要求還包括：

- 提供了一股氣流可橫跨整個工作面，防止懸浮顆粒在工作區內累積；
- 從專用設備的設計到氣溶膠的處理，建立有效的途徑，控制工作面來移除的污染顆粒；
- 通風過濾系統所捕捉的這些除役廢棄物，是其他用於處理大型廢棄物的系統所無法輕易加以收集的。

設計一套通風系統其所提供的氣流，應該從清潔且無輻射的區域流向輻射污染區，並確保空氣流動所流經的連續區域，其輻射等級是逐漸增加的，也就是空氣是從低輻射低污染的區域流向高輻射、高污染的區域。

分隔不同輻射等級區域的邊界，使用模組化的實體帳篷或現有的房間邊界，建立的臨時隔離區，須處於負壓狀態，進而確保氣流是流向隔離區內部，可防止顆粒的反向擴散。

(2) 輻射防護

混凝土的除污操作非常容易產生空浮污染(除非用水噴灑，但不建議這樣做，因為它可能導致污染物的進一步遷移，以及隱藏面與清潔面的交叉污染)；因此，工作人員必須使用各式的防護衣與設備，或加以適當搭配組合。在某些情況下，還應提供特殊的呼吸與空氣冷卻系統，使除役任務的執行能保持在安全與可接受的工作狀況下。

對於已知的工作條件，可能需要在各個不同的防護裝備之間做出選擇，可考量下列因素而做出最終的決定：

- 工作人員的舒適性；
- 防護設備的成本；
- 輻射的危險性。

例如：工作人員從事費力的工作時，如錘擊，最好能穿著可充分供氣的服

裝，但這並非強制性(從安全的角度來看)，尤其是沒有出現阿伐污染及灰塵的量產相當低時。

(3) 職業安全衛生

有關職業安全衛生，請參考本章、二、(一)、8.節安全作業程序。

(4) 電氣安全

有關電氣安全，請參考本章、二、(一)、8.節安全作業程序。

三、結語

核一廠除役作業共分為四個階段，本公司依據各階段之目標及時程，規劃除役工作分解架構及作業排程。作業內容及時程規劃係以拆除安全及減少放射性廢棄物為前提，並考量用過核子燃料貯存規劃、低放射性廢棄物處理貯存、廠址輻射特性調查、除污、拆除程序等因素，使整體除役時程規劃具可執行性及可達成性，且預計完成時間符合我國法規之規定，即取得除役許可後 25 年內應完成除役。

核一廠除役作業排程之規劃為：先從汽機廠房開始進行拆解與拆除，然後執行聯合結構廠房設備拆解作業，並在各建物之適當空間，整建低放射性廢棄物處理區域。除了主要系統以及受活化或放射性污染之主要組件外(含反應器壓力槽及其內部組件、生物屏蔽、燃料池格架、主要管路系統、大型桶槽及大型設備等)，拆除之程序係採逐層拆解與拆除之方式進行，各樓層再依據房間或區域劃分執行拆解與拆除作業。

本公司已完成待拆除系統/設備/組件/結構等基本之整理(含重量、尺寸、數量、材質等)，並規劃可行之拆除方法，以及所需採行之安全作業程序及其相關之輻射防護與防治污染擴散之設計，供未來實際執行拆除作業時，細部規劃之參考。另由國外核能電廠除役拆解經驗證實，高放射性物件的水下拆解切割工法確有其必要性，用於除役拆解作業可有效降低工作人員劑量及工作場所空浮機率。

廠房結構將於完成管路系統及各種設備移除後，進行除污作業，經輻射偵檢，

確定無輻射殘留後，再以一般建築物之方式進行拆除。依據國外經驗顯示，廢棄混凝土塊中有 95 % 以上，是極低微或根本未受放射性污染，參考本計畫第九章之估算，兩部機組之廠房廢棄混凝土塊中，有極大部分屬於可外釋，亦即經過適當除污後，絕大多數之廢棄混凝土塊均可經由法規規定之外釋程序回收再利用。

四、參考文獻

1. 台灣電力公司第一核能發電廠，「沸水式核能電廠訓練教材」。
2. 鄧希平，「放射性物料管理局委託研究計畫研究報告「核能電廠除役安全管理技術之建立(2)」」，92 年 12 月 29 日。
3. NUREG/CR-6174, “Revised Analyses of Decommissioning for the Reference Boiling Water Reactor Power Station,” 1996.
4. Policies and Strategies for the Decommissioning of Nuclear and Radiological Facilities, No. NW-G-2.1, IAEA, 2011.
5. “Innovative and Adaptive Technologies in Decommissioning of Nuclear Facilities”, IAEA-TECDOC-1602, 2008.
6. “Decommissioning Technology Experience Reports”, EPRI Technical Report, 2000.
7. R. Versemann, “Decommissioning nuclear plants: experiences in Germany”, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 2008.
8. “Task group on remote handling techniques”, OECD Technical advisory group (TAG), 2011.
9. “Dismantling Techniques, Decontamination Techniques, Dissemination of Best Practice, Experience and Know-how”, EC – CND Report, 2009.
10. “Rancho Seco Nuclear Generating Station Decommissioning Experience Report”, EPRI Report, 2007.
11. “ORNL Remote Operations for D&D Activities”, US DOE, 2007.

12. Paulo E. O. Lainetti, "Cutting techniques for facilities dismantling in decommissioning projects", International Nuclear Atlantic Conference, 2011.
13. "State of the art technology for decontamination and dismantling of nuclear facilities", IAEA, Technical reports series No. 395, 1999.
14. "Recent United States and International Experiences in Reactor Vessel and Internals Segmentation", EPRI Technical Report, 2011.
15. "R&D and innovation needs for decommissioning nuclear facilities", IAEA, 2014.
16. "Reactor internals segmentation experience report", EPRI Report, 2007.
17. "The BR3 pressurised water reactor pilot dismantling project", nuclear science and technology, 1998.
18. H. H. Alba etc., "innovative underwater cutting procedures for the dismantling of two German nuclear power plants", WM'99 Conference, 1999.

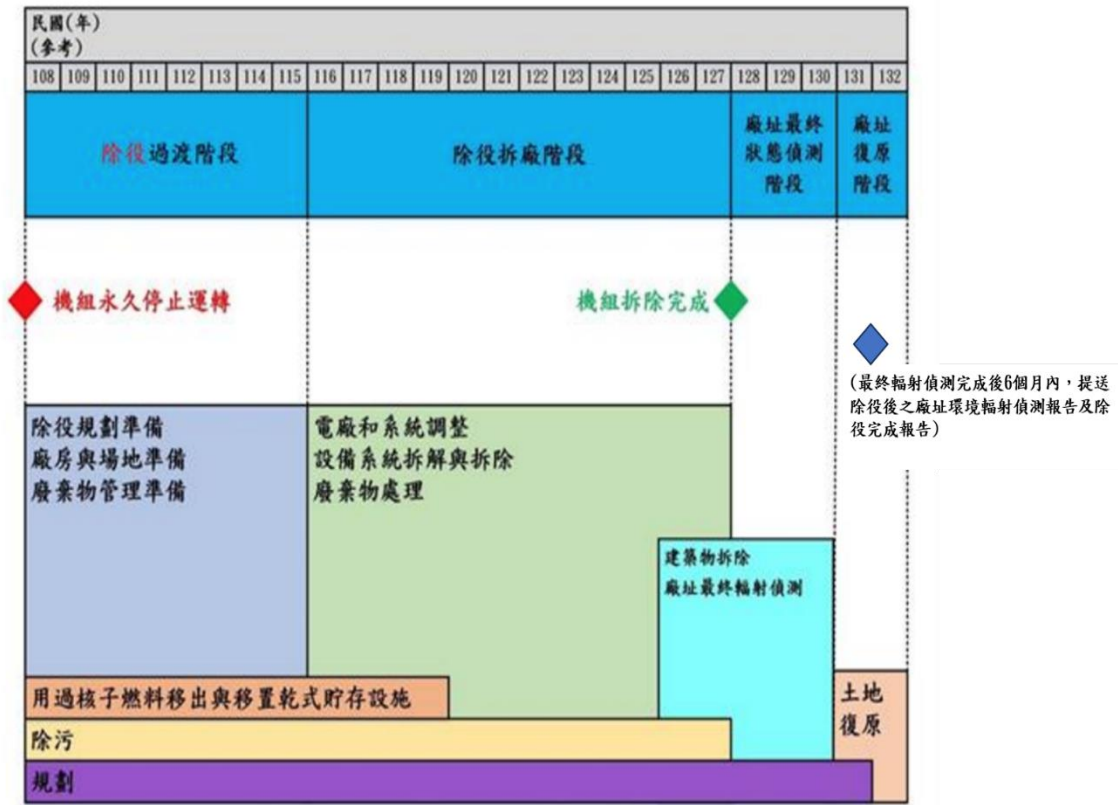
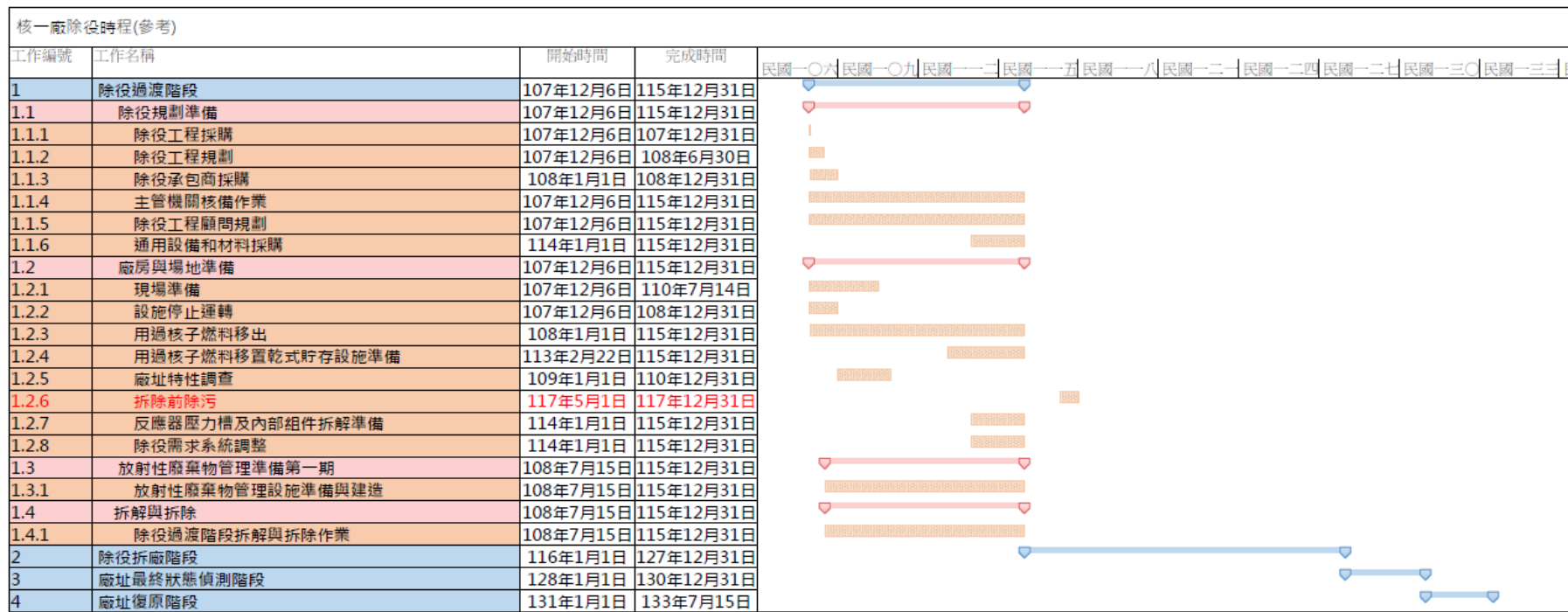


圖 6-1 核一廠除役架構時程



3

5 | 6

5

圖 6-2 除役過渡階段作業排程

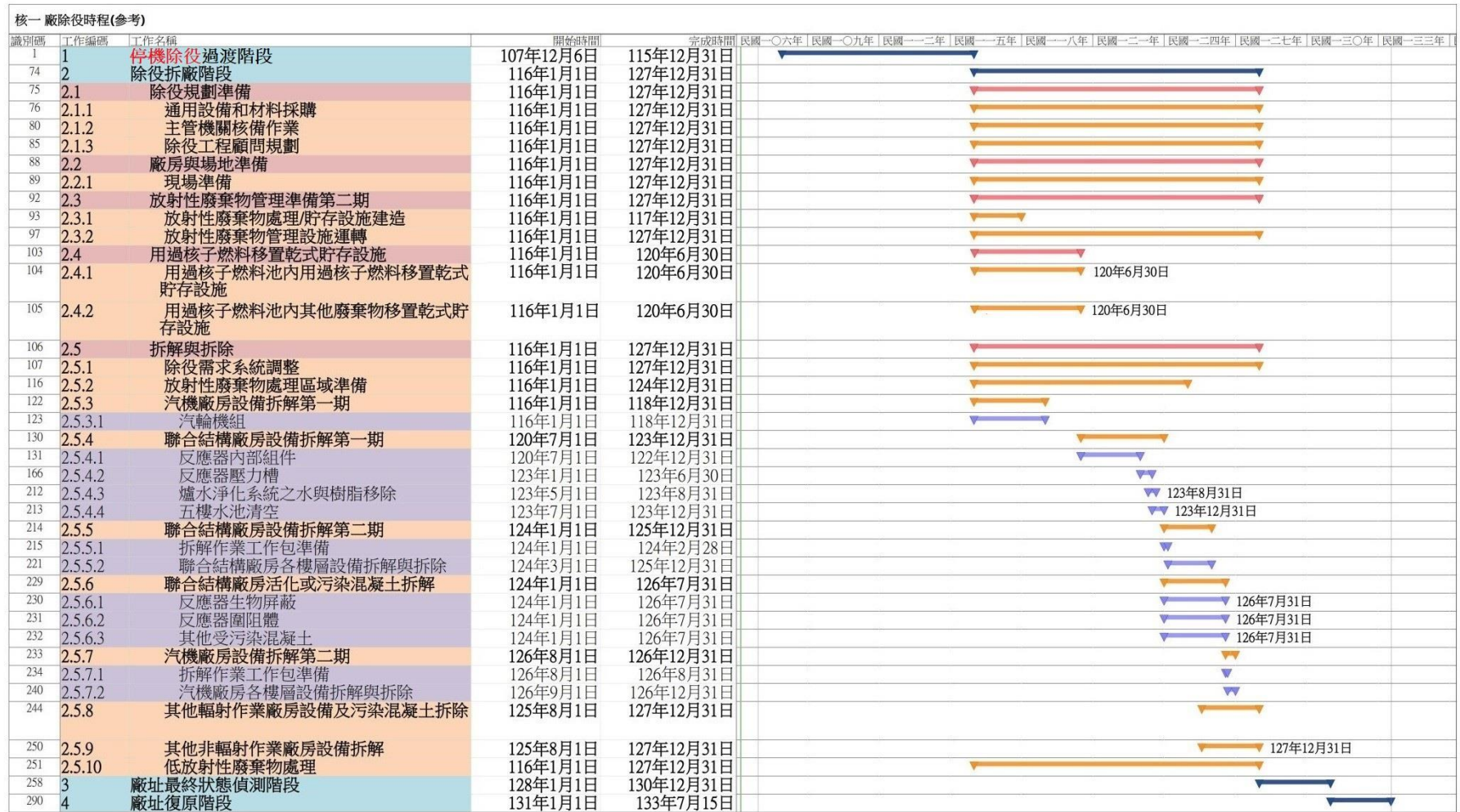


圖 6-3 除役拆廠階段作業排程

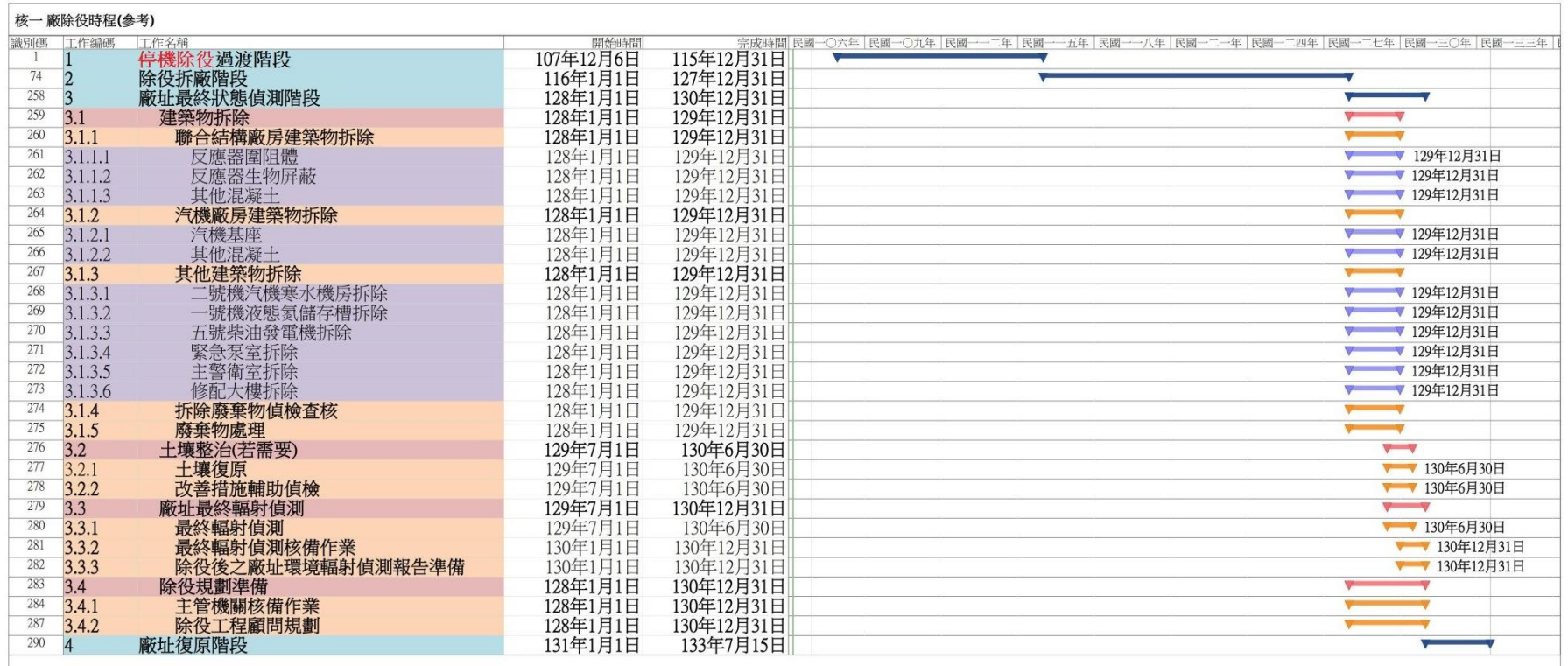


圖 6-4 廠址最終狀態偵測階段作業排程

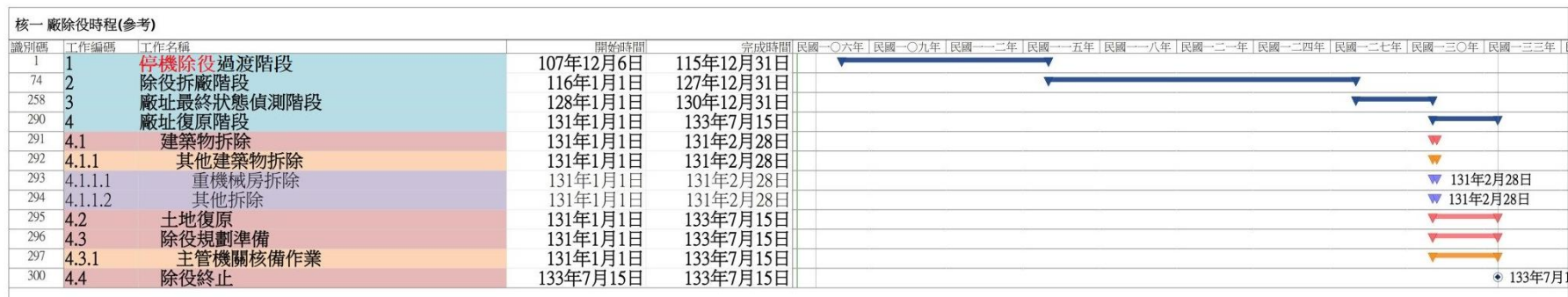
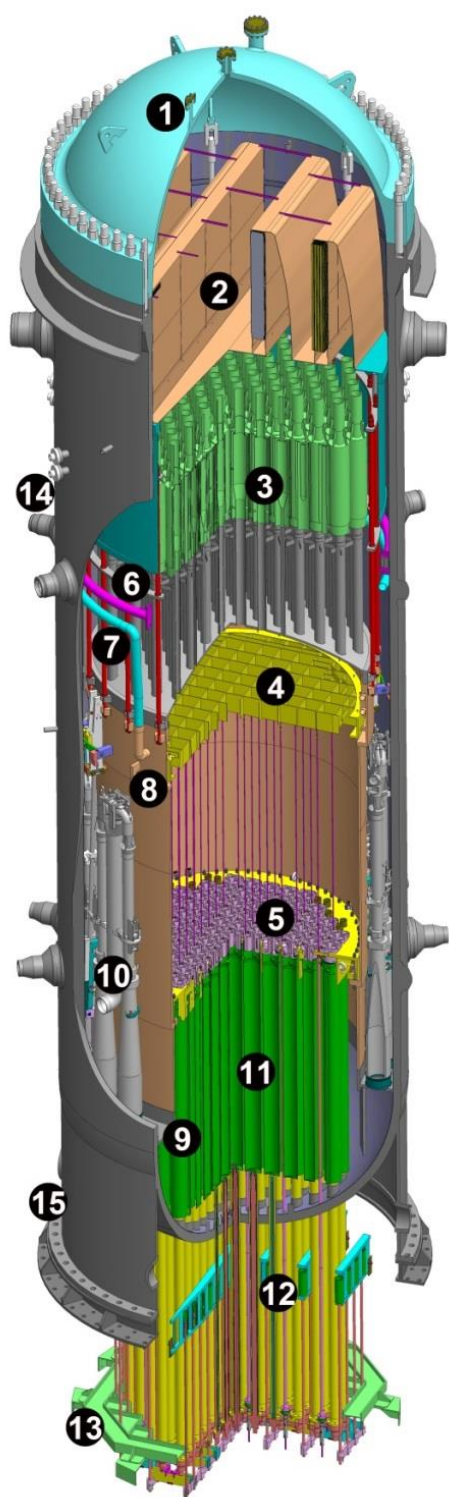


圖 6-5 廠址復原階段作業排程



1	壓力槽頂蓋
2	蒸汽乾燥器
3	汽水分離器與側板頂蓋
4	頂部導板
5	爐心底板
6	飼水噴嘴
7	爐心噴灑噴嘴
8	爐心側板
9	爐心側板支持板
10	噴射泵組件
11	控制棒導管
12	控制棒驅動殼
13	控制棒驅動殼支架
14	反應器壓力槽
15	壓力槽支撐裙板

圖 6-6 反應器壓力槽 3D 模型圖

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-7 壓力槽頂蓋外型尺寸

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-8 蒸汽乾燥器外型尺寸

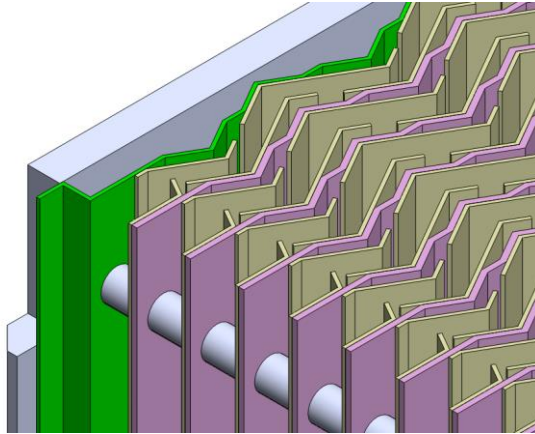


圖 6-9 蒸汽乾燥器內部摺曲片

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-10 乾燥器及汽水分離器存放池的上視圖及剖視圖

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-11 汽水分離器與側板頂蓋外型尺寸

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-12 頂部導板外型尺寸

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-13 燃料墊塊外型尺寸

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-14 爐心底板外型尺寸

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-15 控制棒導管外型尺寸

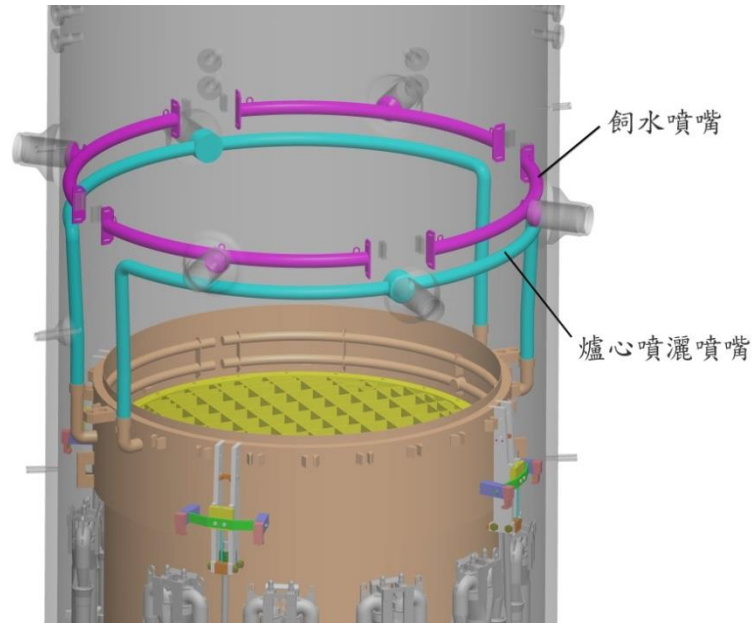


圖 6-16 飼水噴嘴位置

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-17 爐心噴灑噴嘴尺寸形狀

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-18 爐心側板外型尺寸

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-19 爐心側板支持板外型尺寸

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-20 噴射泵組件外型尺寸

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-21 反應器壓力槽半球狀底部

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-22 生物屏蔽內部結構及外部形狀

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-23 生物屏蔽與圍阻體的相對位置

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-24 用過核子燃料池中 14 組格架布置圖

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-25 格架及方管上視圖

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-26 格架 J 尺寸外觀圖

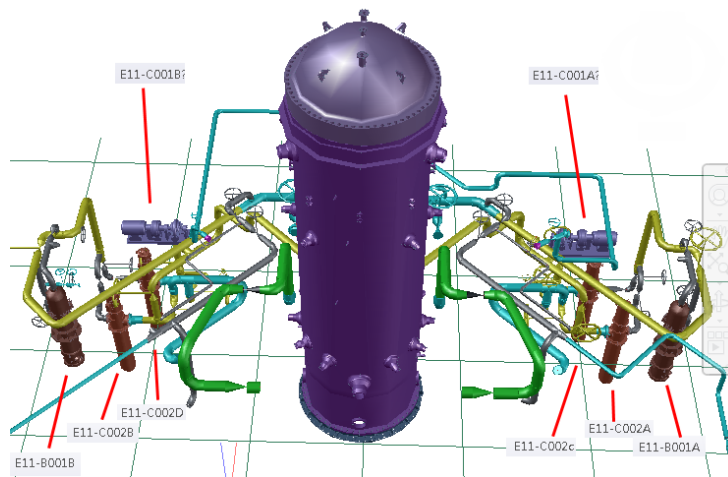


圖 6-27 餘熱移除管路系統

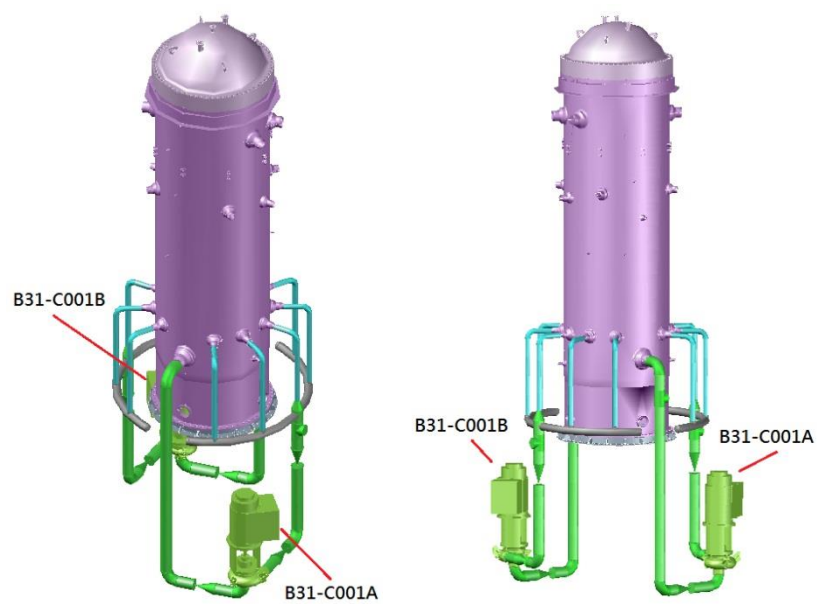


圖 6-28 再循環水系統

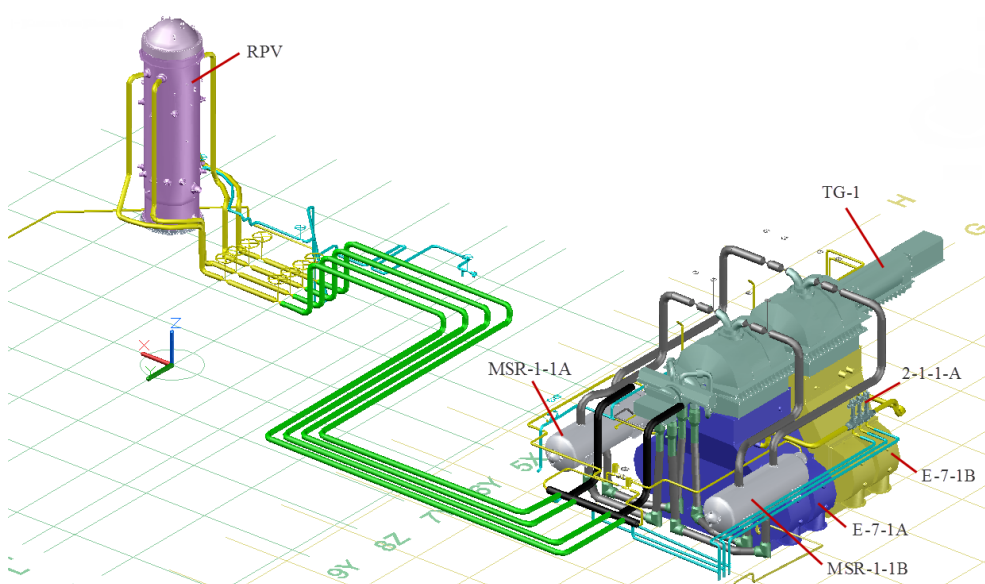


圖 6-29 主蒸汽系統

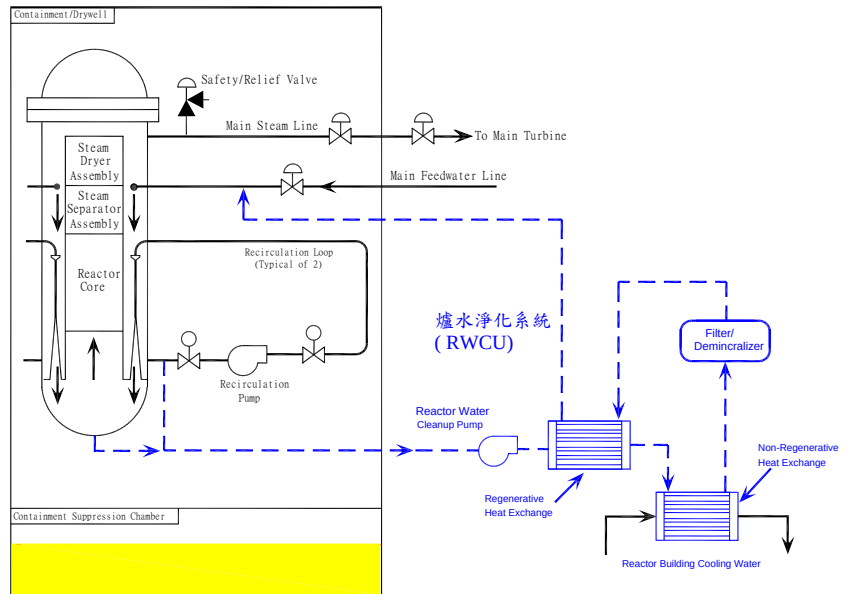


圖 6-30 爐水淨化系統

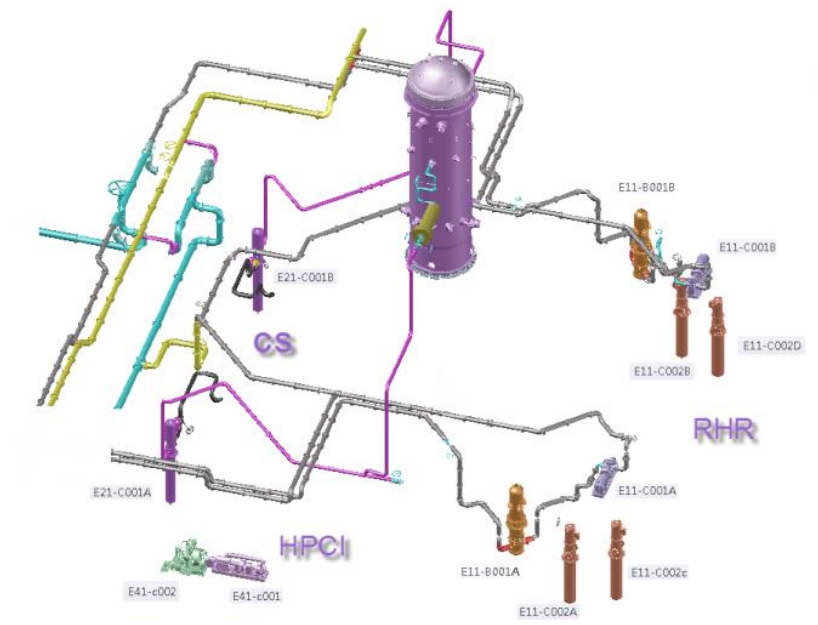


圖 6-31 緊急爐心冷卻系統

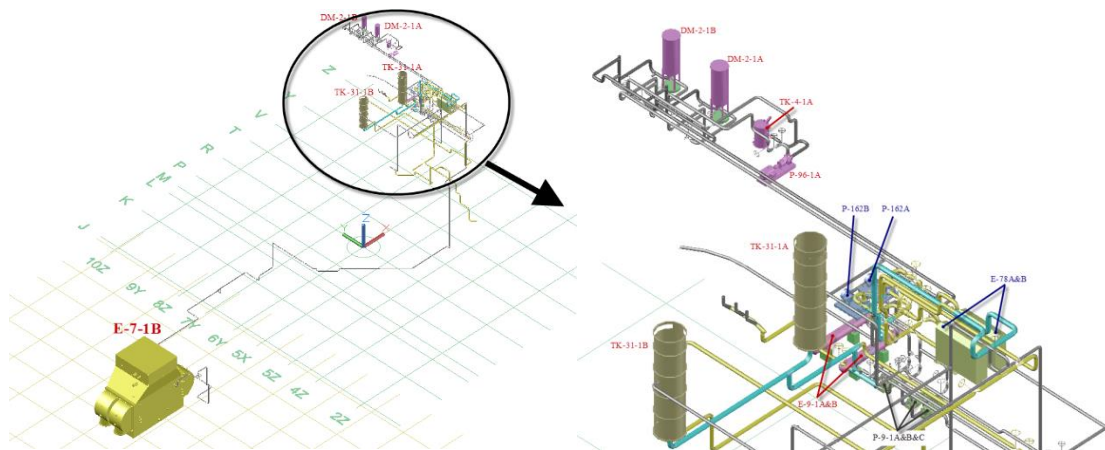


圖 6-32 用過核子燃料池冷卻系統

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-33 廢漿槽所在位置

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-34 廢漿槽外型尺寸

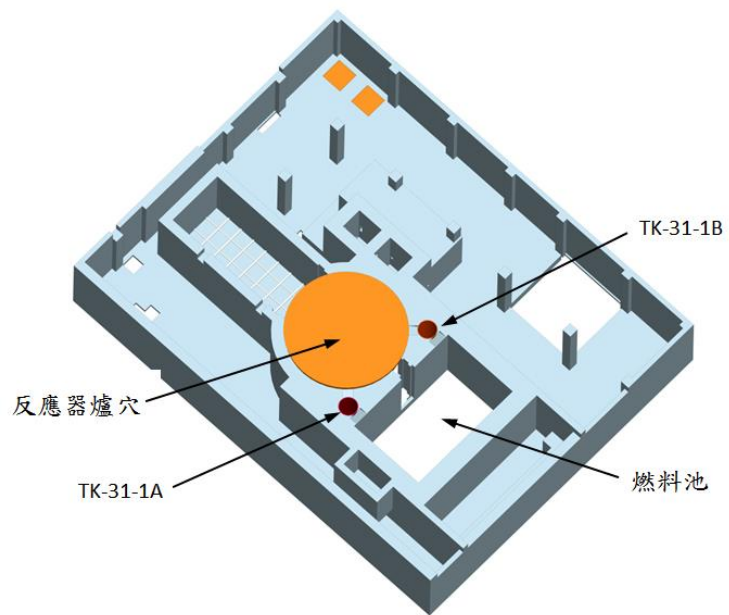


圖 6-35 溢流緩衝槽所在位置

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-36 溢流緩衝槽外型尺寸

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-37 主冷凝器外型尺寸

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-38 再循環泵外型尺寸

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-39 汽機及發電機外型尺寸

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-40 加熱器外型

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-41 汽機及其加熱器布置圖

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-42 主變壓器外型尺寸

依政府資訊公開法第 18 條第一項第七款，因內容涉及製造廠家設計資料，屬商業交易機密，故不予公開。

圖 6-43 一次圍阻體系統

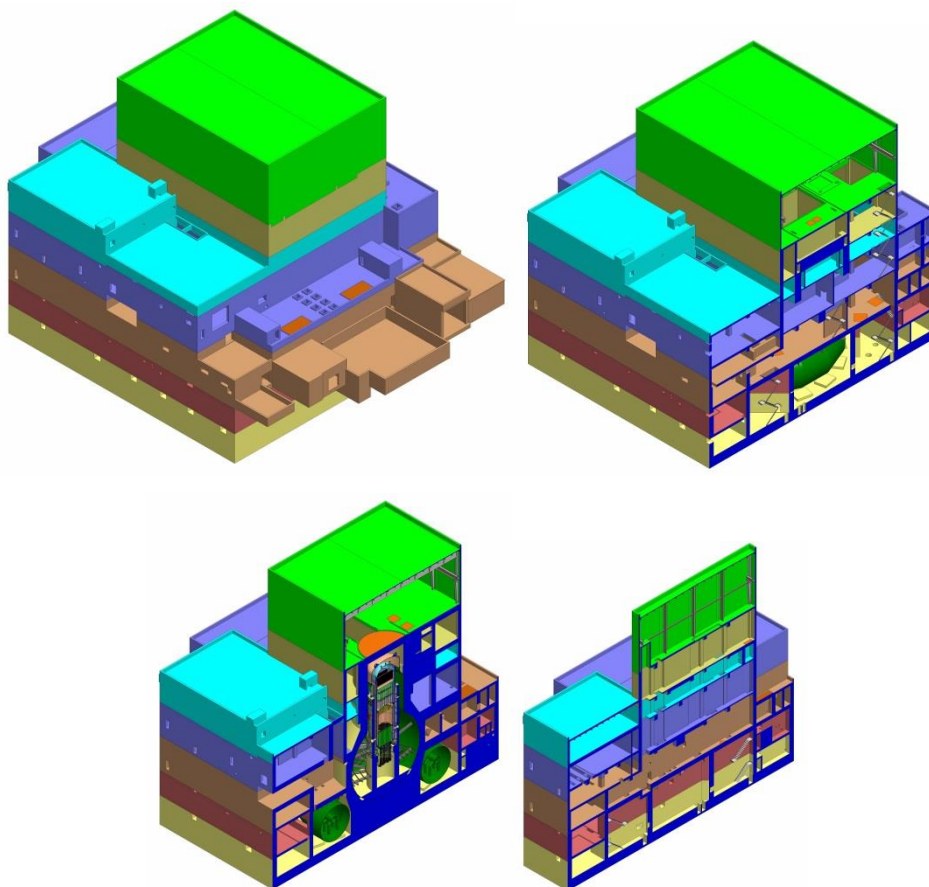


圖 6-44 聯合結構廠房外觀及剖視圖

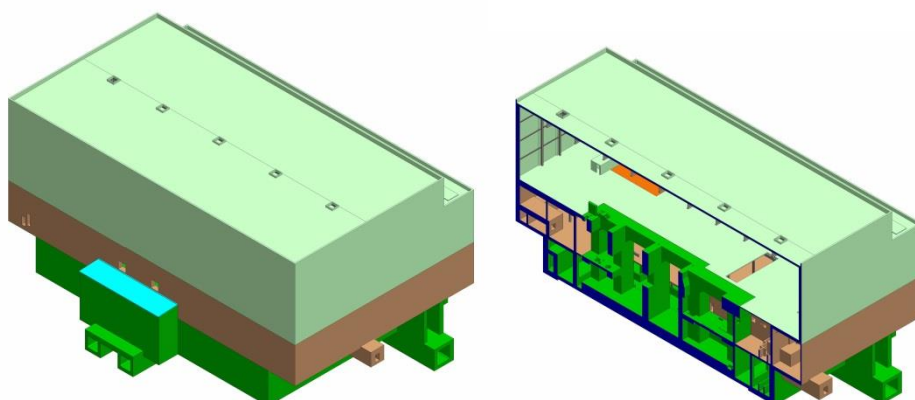


圖 6-45 汽機廠房外觀及剖視圖

表 6-1 核一廠除役建物拆除彙整表

建物名稱	機組編號
一號機聯合結構廠房	1
一號機汽機廠房	1
二號機聯合結構廠房	2
二號機汽機廠房	2
二號機汽機寒水機房	2
五號柴油發電機	0
氫氣產生系統及廢氣廠房	0
主警衛室	0
修配大樓	0
一號機液態氮儲存槽	0
緊急泵室	0
主煙囪	0
放射實驗室(若需要)	0

6

6

表 6-2 核一廠除役工作分解架構表

工作編碼	工作任務
0	核一廠除役
1	除役過渡階段
1.1	除役規劃準備
1.1.1	除役工程顧問採購
1.1.2	除役工程規劃
1.1.3	除役承包商採購
1.1.4	主管機關核備作業
1.1.5	除役工程顧問規劃
1.1.6	通用設備和材料採購
1.2	廠房與場地準備
1.2.1	現場準備
1.2.2	設施停止運轉

3

1.2.3	用過核子燃料移出
1.2.4	用過核子燃料移置乾式貯存設施準備
1.2.5	廠址特性調查
1.2.6	拆除前除污
1.2.7	反應器壓力槽及內部組件拆解準備
1.2.8	除役需求系統調整
1.3	放射性廢棄物管理準備第一期
1.3.1	放射性廢棄物管理設施準備與建造
1.4	拆解與拆除
1.4.1	除役過渡階段拆解與拆除作業
2	除役拆廠階段
2.1	除役規劃準備
2.1.1	通用設備與材料採購
2.1.2	主管機關核備作業
2.1.3	除役工程顧問規劃
2.2	廠房與場地準備
2.2.1	現場準備
2.3	放射性廢棄物管理準備第二期
2.3.1	放射性廢棄物處理/貯存設施建造
2.3.2	放射性廢棄物管理設施運轉
2.4	用過核子燃料移置乾式貯存設施
2.4.1	用過核子燃料池內用過核子燃料移置乾式貯存設施
2.4.2	用過核子燃料池內其他廢棄物移置乾式貯存設施
2.5	拆解與拆除
2.5.1	除役需求系統調整
2.5.2	放射性廢棄物管理區域準備
2.5.3	汽機廠房設備拆解第一期
2.5.3.1	汽輪機組
2.5.4	聯合結構廠房設備拆解第一期
2.5.4.1	反應器內部組件
2.5.4.2	反應器壓力槽
2.5.4.3	爐水淨化系統之水與樹脂移除
2.5.4.4	五樓水池清空
2.5.5	聯合結構廠房設備拆解第二期
2.5.5.1	拆解作業工作包準備
2.5.5.2	聯合結構廠房各樓層設備拆解與拆除
2.5.6	聯合結構廠房活化或污染混凝土拆解
2.5.6.1	反應器生物屏蔽
2.5.6.2	反應器圍阻體

2.5.6.3	其他受污染混凝土
2.5.7	汽機廠房設備拆解第二期
2.5.7.1	拆解作業工作包準備
2.5.7.2	汽機廠房各樓層設備拆解與拆除
2.5.8	其他輻射作業廠房設備及污染混凝土拆除
2.5.9	其他非輻射作業廠房設備拆解
2.5.10	低放射性廢棄物處理
3	廠址最終狀態偵測階段
3.1	建築物拆除
3.1.1	聯合結構廠房
3.1.1.1	反應器圍阻體
3.1.1.2	反應器生物屏蔽
3.1.1.3	其他混凝土
3.1.2	汽機廠房
3.1.2.1	汽機基座
3.1.2.2	其他混凝土
3.1.3	其他建築物拆除
3.1.3.1	二號機汽機寒水機房拆除
3.1.3.2	一號機液態氮儲存槽拆除
3.1.3.3	五號柴油發電機拆除
3.1.3.4	緊急泵室拆除
3.1.3.5	主警衛室拆除
3.1.3.6	修配大樓拆除
3.1.4	拆除廢棄物偵檢查核
3.1.5	廢棄物處理
3.2	土壤整治(若需要)
3.2.1	土壤更換
3.2.2	改善措施輔助偵檢
3.3	廠址最終輻射偵測
3.3.1	最終輻射偵測
3.3.2	最終輻射偵測核備作業
3.3.3	除役後之廠址環境輻射偵測報告準備
3.4	除役規劃準備
3.4.1	主管機關核備作業
3.4.2	除役工程顧問規劃

4	廠址復原階段
4.1	建築物拆除
4.1.1	其他建築物拆除
4.1.1.1	廠房拆除
4.1.1.2	其他拆除
4.2	土地復原
4.3	除役規劃準備
4.3.1	主管機關核備作業
4.4	除役終止

表 6-3 氧-燃料切割的性能參數

操作環境	空氣中或水下
水下深度	乙炔操作可達水下 10 m，超過 10 m 可採用替代燃料
自動/遙控操作	有可能
切割速度	350 ~ 700 mm/min (10 mm 厚的金屬板)
切割深度	25 ~ 800 mm(標準工具)；研究用可達 3,200 mm
曲線切割	有可能
二次廢棄物	鐵基氧化物(金屬融液)
耗材	氧及可燃物(乙炔、汽油、丁烷等)
特點	可用於特定的材料

表 6-4 電漿切割的性能參數

操作環境	空氣中或水下
水下深度	目前可達 100 m
自動/遙控操作	可以
切割速度	100 ~ 500 mm/min (10 mm 厚的金屬板)
切割深度	約 150 mm
曲線切割	可以
二次廢棄物	金屬融液，工作氣體(氮氣，惰性氣體)
耗材	工作氣體
特點	精確、快速、材料需導電，切削深度有限

表 6-5 金屬破碎機的性能參數

操作環境	只有水下
水下深度	理論上無限制
自動/遙控操作	可以
切割速度	直徑 3”、長 5.5”的螺栓，需 2.5 小時
切割深度	依據電極長度而定
曲線切割	不可以；只能直向前進
二次廢棄物	電極及金屬材料碎屑、工作用水
耗材	電極、工作用水
特點	常用拆卸卡死或焊死的螺栓

表 6-6 接觸式電弧金屬切割的性能參數

操作環境	只有水下
水下深度	理論上無限制
自動/遙控操作	可以
切割速度	約 1,500 mm/min (10 mm 中碳鋼板)
切割深度	約 270 mm(依據電極的長度)
曲線切割	不可以；只能直向前進
二次廢棄物	固體：電極及金屬材料碎屑；氣體：CO ₂
耗材	電極、工作用水
特點	適用於複雜的中空結構，僅適用於導電材料;切斷狀況易於控制(不會產生過切)

表 6-7 接觸式電弧金屬研磨的性能參數

操作環境	只有水下
水下深度	理論上無限制
自動/遙控操作	可以
切割速度	約 4,000 mm/min (10 mm 中碳鋼板)
切割深度	約圓盤直徑的 1/3
曲線切割	不可以；只能直向前進
二次廢棄物	電極及金屬材料碎屑
耗材	電極
特點	適用於複雜的中空結構，僅適用於導電材料; 切斷狀況易於控制，是所有水下熱切割技術速度最快的

表 6-8 機械式及熱切割之優缺點比較

	優點	缺點
熱切割	● 切割速度快 ● 可沿曲線做較有彈性的切割 ● 切割工具小巧靈活	● 切割過程會產生氣溶膠，造成空浮 ● 在空氣中或水中需要設置大流量的過濾系統，收集切割產生之細小顆粒 ● 空氣中或水中的過濾器濾芯都將成為二次廢棄物
機械式切割	● 切屑顆粒大易收集 ● 無大量熱量輸入，不易造成空浮 ● 二次廢棄物數量少	● 切割速度較慢 ● 需要強壯的結構支撐以抵抗切割時的反作用力 ● 狹小空間之活動與近接性較差 ● 不易做曲線軌跡切割 ● 刀具易磨損需定期維護更換 ● 發生故障、刀具破損或刀具卡入切縫等，故障排除耗時 ● 在空氣中使用需要液體的潤滑及冷卻

表 6-9 常用金屬切割技術之優缺點

	優點	缺點
氧-燃料切割	● 切割速度快 ● 可沿曲線做較有彈性的切割 ● 切割工具小巧靈活	● 切割過程會產生氣溶膠，造成空浮 ● 在空氣中或水中需要設置大流量的過濾系統，收集切割產生之細小顆粒 ● 空氣中或水中的過濾器濾芯都將成為二次廢棄物 ● 不適合切割不銹鋼
電漿切割	● 切割速度快 ● 可沿曲線做較有彈性的切割 ● 切割工具小巧靈活	● 切割過程會產生氣溶膠，造成空浮 ● 在空氣中或水中需要設置大流量的過濾系統，收集切割產生之細小顆粒 ● 空氣中或水中的過濾器濾芯都將成為二次廢棄物
(液壓)剪切	● 幾乎不產生切屑 ● 無大量熱量輸入，不易造成空浮 ● 二次廢棄物數量少 ● 剪切速度快	● 受物件形狀及尺寸的限制，不適用於直徑太大或太厚的物件 ● 需要強壯的結構支撐以抵抗切割時的反作用力 ● 狹小空間之活動與近接性較差 ● 水下操作發生漏油意外，將造成清理的困難

鋸切	● 切屑顆粒大易收集 ● 無大量熱量輸入，不易造成空浮 ● 二次廢棄物數量少	● 切割速度較慢 ● 需要強壯的結構支撐以抵抗切割時的反作用力 ● 狹小空間之活動與近接性較差 ● 不易做曲線軌跡切割 ● 刀具易磨損需定期維護更換 ● 發生故障、刀具破損或刀具卡入切縫等，故障排除耗時 ● 在空氣中使用需要液體的潤滑及冷卻
金屬破碎機(放電加工)	● 狹小空間之活動與近接性佳	● 在水中需要過濾系統，收集切割產生之細小顆粒 ● 切割速度慢 ● 僅適用於金屬材料
磨料水刀	● 狹小空間之活動與近接性佳 ● 無大量熱量輸入，不易造成空浮 ● 可沿曲線做較有彈性的切割 ● 切割時無反作用力，結構支撐相對簡化	● 用過的磨料成為二次廢棄物 ● 在水中需要需要設置大流量的過濾系統，收集切割造成之細小顆粒 ● 過濾器濾芯將成為二次廢棄物
鑽石索鋸	● 狹小空間之活動與近接性佳 ● 切屑顆粒大易收集 ● 適合水下作業(不需額外潤滑及冷卻)	● 機具的安裝架設較耗時 ● 切割速度慢 ● 受限於鑽石繩索的彎曲半徑，適用大型切割件 ● 在空氣中使用需要水的潤滑、冷卻及沖洗切割位置，產生的碎屑及水成為二次廢棄物，需要收集再處理

表 6-10 反應器壓力槽槽壁的主要貫穿管路

名稱	數量	管徑 mm (in)	高度 m(槽底為原點)
主蒸汽管	4	508(20")	15.98
飼水	4	323.6(12")	12.19
爐心噴灑	2	273(10")	11.83
再循環水進口	10	273(10")	4.76
再循環水出口	2	559(22")	3.60

表 6-11 反應器壓力槽底部貫穿管路

名稱	數量	管徑 mm (in)
控制棒驅動殼	97	152.4(6)
爐心儀殼	34	50.8(2)
排水管	1	50.8 (2)
備用硼液控制噴嘴 兼差壓接頭	1	50.8 (2)

表 6-12 格架容量重量

格架編號	容量(格數)	重量(MT)
A1	240	10.2
A2	240	10.2
B	225	9.6
C	261	11.1
D	184	8.0
E1	210	9.0
E2	210	9.0
E3	210	9.0
F1	224	9.6
F2	224	9.6
F3	224	9.6
G	179	7.8
H	180	7.7
J	272	11.6

表 6-13 餘熱移除管路系統之主要設備

設備名稱	設備編號
RHR HEAT EXCHANGER	E11-B001A
RHR HEAT EXCHANGER	E11-B001B
RHR SERVICE WATER BOOSTER PUMP	E11-C001A
RHR SERVICE WATER BOOSTER PUMP	E11-C001B
RHR PUMP	E11-C002A
RHR PUMP	E11-C002B
RHR PUMP	E11-C002C
RHR PUMP	E11-C002D

表 6-14 再循環水管路系統之主要設備

設備名稱	設備編號
REACTOR RECIRCULATION PUMP	B31-C001A
REACTOR RECIRCULATION PUMP	B31-C001B

表 6-15 主蒸汽系統之主要設備

設備名稱	設備編號
REACTOR PRESSURE VESSEL	RPV
MAIN CONDENSER	E-7-1B
TURBINE BYPASS VALVE CHEST	2-1-1-A
MAIN CONDENSER	E-7-1A
MOISTURE SEPARATOR REHEATER 1A	MSR-1-1A
MOISTURE SEPARATOR REHEATER 1B	MSR-1-1B
HP TURBINE	TG-1

表 6-16 爐水淨化系統之主要設備

設備名稱	設備編號
REACTOR WATER CLEAN-UP FILTER DEMINERALIZER	DM-3-1A
REACTOR WATER CLEAN-UP FILTER DEMINERALIZER	DM-3-1B
CLEAN-UP REGENERATIVE HEAT EXCHANGER	G33-B001
CLEAN-UP NON-REGENERATIVE HEAT EXCHANGER	G33-B002

表 6-17 高壓注水系統之主要設備

設備名稱	設備編號
HPCI PUMP	E41-C001
HPCI BOOSTER PUMP	E41-C001
HPCI TURBINE	E41-C002

表 6-18 爐心噴灑系統之主要設備

設備名稱	設備編號
CORE SPRAY PUMP	E21-C001A
CORE SPRAY PUMP	E21-C001B

表 6-19 用過核子燃料池冷卻系統之主要設備

設備名稱	設備編號
HEAT EXCHANGER	E-9-1A
HEAT EXCHANGER	E-9-1B
SKIMMER SURGE TANK	TK-31-1A
SKIMMER SURGE TANK	TK-31-1B
FUEL POOL FILTER DEMINERALIZER	DM-2-1A
FUEL POOL FILTER DEMINERALIZER	DM-2-1B

表 6-20 有污染之大型桶槽彙整

桶槽編號	桶槽名稱	桶槽位置	材質	桶槽容量(m ³)	桶槽重量(MT)	桶槽直徑(m)	桶槽高度或長度(m)
TK-11-1A	WASTE COLLECTOR TANK	聯合結構廠房 B2,B10	碳鋼	132.5	18.3	7.4	3.4
TK-15-1A	FLOOR DRAIN COLLECTOR TANK	聯合結構廠房 B2,B13	碳鋼	37.9	5.0	4.3	3.0
TK-16-1A	FLOOR DRAIN SAMPLE TANK	聯合結構廠房 B1,B27	碳鋼	94.6	7.6	6.1	3.4
TK-16-1B	FLOOR DRAIN SAMPLE TANK	聯合結構廠房 B1,B27	碳鋼	94.6	7.6	6.1	3.4
TK-18-1A	WASTE SLUDGE TANK	聯合結構廠房 B1,B32	碳鋼	56.3	8.3	3.2	7.5
TK-24-1A	CLEAN-UP PHASE SEPARATOR TANK	反應器廠房 3F, 403	碳鋼	34.3	3.6	3.5	3.3
TK-24-1B	CLEAN-UP PHASE SEPARATOR TANK	反應器廠房 3F, 403	碳鋼	34.3	3.6	3.5	3.3
TK-26-1A	TURBINE LUBE OIL RESERVIOR	汽機廠房 1F, 152	碳鋼	43.5	12.6	3.0	6.4
TK-30-1A	SPENT RESIN TANK	反應器廠房 B1, B29	碳鋼	21.4	1.2	2.1	3.35
TK-31-1A	FUEL POOL SKIMMER SURGE TANK	反應器廠房 5F	碳鋼	14.0	3.0	1.8	6.83
TK-31-1B	FUEL POOL SKIMMER SURGE TANK	反應器廠房 5F	碳鋼	14.0	3.0	1.8	6.83
TK-32-1A	WASTE SAMPLE TANK	聯合結構廠房 B1,B35	鋁合金	71.9	8.1	4.9	4.6
TK-32-1B	WASTE SAMPLE TANK	聯合結構廠房 B1,B35	鋁合金	71.9	8.1	4.9	4.6
TK-4-1A	CONDENSATE STORAGE TANK	聯合結構廠房 1F,167N	不銹鋼	1892.7	93.7	5.3	11.2
TK-45-1A	WASTE NEUTRALIZER TANK	聯合結構廠房 B2,B16	碳鋼	94.6	4.6	6.4	3.4
TK-45-1B	WASTE NEUTRALIZER TANK	聯合結構廠房 B2,B16	碳鋼	94.6	4.6	6.4	3.4
TK-55-1A	MAKEUP DEMIN. NEUTRALIZER TANK	聯合結構廠房	碳鋼	94.6	4.6	6.4	3.4
TK-56-1A	CONCENTRATED WASTE TANK	聯合結構廠房 B2,B21	碳鋼	56.8	8.0	5.2	3.0
TK-56-1B	CONCENTRATED WASTE TANK	聯合結構廠房 B2,B21	碳鋼	56.8	8.0	5.2	3.0
TK-56-1C	CONCENTRATED WASTE TANK	聯合結構廠房 B2,B21	碳鋼	56.8	8.0	5.2	3.0
TK-6-1A	DEMINERALIZED WATER STORAGE TANK	聯合結構廠房 B2,B7	鋁合金	188.1	14.7	8.4	3.8

TK-9-1A	WASTE COLLECTOR TANK	聯合結構廠房 B2,B11	碳鋼	132.5	10.3	7.3	3.4
C41-A001	STAND BY LIQUID CONTROL TANK	聯合結構廠房 4F,414	不銹鋼	31.4	2.2	2.7	3.7

表 6-21 汽機之體積及重量

設備名稱	設備編號	體積(m ³)	重量(MT)
高壓汽機 HP TURBINE	TG-1	292.76	182.7
低壓汽機 LP TURBINE	TG-1-1A	455.66	284.3
低壓汽機 LP TURBINE	TG-1-1B	455.66	284.3

表 6-22 飼水加熱器之體積及重量

設備名稱	設備編號	重量(MT)	長(m)	寬(m)	高(m)
HP HEATER	E-1-1A	41.6	12.10	2.40	2.40
HP HEATER	E-1-1B	41.6	12.10	2.40	2.40
LP HEATER	E-2-1A	31.8	15.10	1.85	2.40
LP HEATER	E-2-1B	31.8	15.10	1.85	2.40
LP HEATER	E-3-1A	29.2	15.16	1.57	2.38
LP HEATER	E-3-1B	29.2	15.16	1.57	2.38
LP HEATER	E-4-1A	30.4	13.58	1.56	2.40
LP HEATER	E-4-1B	30.4	13.58	1.56	2.40
LP HEATER	E-5-1A	41.5	15.65	1.69	2.30
LP HEATER	E-5-1B	41.5	15.65	1.69	2.30
LP HEATER	E-6-1A	30.1	16.50	1.47	2.08
LP HEATER	E-6-1B	30.1	16.50	1.47	2.08

表 6-23 聯合結構廠房各樓層之混凝土結構體積

聯合結構廠房	混凝土結構體積(m ³)
地下二層 B2(EL -0.83')	19,574
地下一層 B1 (EL 17.33')	5,458
一樓 1F(EL 39.83')	11,701
二樓 2F(EL 67.33')	6,359
三樓 3F(EL 95')	3,702
四樓 4F(EL 110')	3,081
五樓 5F(EL 137.5')	1,614

表 6-24 汽機廠房各樓層之混凝土結構體積

汽機廠房	混凝土結構體積(m ³)
地下一層 B1 (EL 17.25')	14,283
一樓 1F(EL 39.83')	6,598
三樓 2F(EL 73.83')	5,655

附錄 6.A 第六章除役時程、使用之設備、方法及安全作業程序之重要管制事項

項次	內 容	管制時程
6-1	除役期間核子燃料全部移出核子反應器設施前之安全分析報告、技術規範及整體性維護管理方案，提報主管機關審核，並定期更新。在未經核准前，應依原運轉規定辦理。	106.12 (1 號機運轉執照屆期 1 年前提報) 107.12~133.07 (除役期間至少每年提報更新)
6-2	拆除作業計畫含輻射劑量合理抑低，提報主管機關審核。	107.12~133.07 (除役拆除作業前 1 年)
6-3	清潔外釋計畫修正版提報主管機關審核。	115.12 提出

3

6