



台灣電力公司

# 「第一核能發電廠除役計畫」

## 技術與管理能力及財務基礎 評估報告 定稿本

中華民國 108 年 7 月

「第一核能發電廠除役計畫」  
技術與管理能力及財務基礎評估報告

目 錄

|                            | <u>頁 次</u> |
|----------------------------|------------|
| 一、前言 .....                 | 1          |
| 二、申請人(台電公司)之技術與管理能力評估..... | 1          |
| 三、申請人(台電公司)之財務基礎評估 .....   | 7          |
| 四、評估結果.....                | 10         |

# 「第一核能發電廠除役計畫」

## 技術與管理能力及財務基礎評估報告

### 一、前言

申請人台灣電力公司(以下簡稱本公司)第一核能發電廠(以下簡稱核一廠)一號機及二號機之預定停止運轉日期分別為 107 年 12 月 5 日及 108 年 7 月 15 日，故本公司依據核子反應器設施管制法第 23 條，核子反應器設施之除役，經營者應檢附除役計畫，向主管機關提出申請，經審核合於下列規定，發給除役許可後，始得為之：

一、除役作業足以保障公眾之健康安全。

二、對環境保護及生態保育之影響合於相關法令之規定。

三、輻射防護作業及放射性物料管理合於相關法令之規定。

四、申請人之技術與管理能力及財務基礎等足以勝任除役之執行。

前項之除役計畫，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。

本報告即就上述第四款之規定，評估台電公司之技術與管理能力及財務基礎等，足以勝任本計畫之執行，作為主管機關核發除役許可之依據。

### 二、申請人(台電公司)之技術與管理能力評估

#### (一)執行本計畫所需之技術與管理能力

本公司核一廠位於新北市石門區乾華里，廠址為新北市石門區小坑路 12 號。核一廠佔地約為 248.5 公頃(含 102 年收購廠區西南側用地約 5.9 公頃)，離台北市直線距離約 28 km，廠區內裝置兩部 63 萬 6 千瓩汽輪發電機組，總裝置容量為 127 萬 2 千瓩。核一廠兩部機組之設計相同，設備亦同時訂購。主要之蒸汽產

生系統係採用美國奇異公司所承造之沸水式反應器(BWR-4)。汽輪發電機由美國西屋公司承造，採熱再生式汽力循環，每部機每年發電約 50 億度。

每座反應器壓力槽之鋼板厚約 12.7 cm，重量(槽體空重含頂蓋)約 450 MT (Metric Ton)，每座爐心安裝核子燃料元件 408 束；另有 97 支十字型控制棒穿插其間，用以控制反應器啟動、停機及功率調節，反應器壓力槽外，為厚度約 1.6 cm 之鋼製一次圍阻體，將反應器及主要的冷卻設備密封在內。一次圍阻體外利用厚度約 152 cm 之鋼筋混凝土遮蔽牆圍繞，以阻擋輻射線。再外層則是混凝土結構的反應器廠房，作為反應器壓力槽的二次圍阻體，並將一次圍阻體包封在內，以保持大氣負壓；出入口設置雙重氣鎖門裝置，確保輻射物質洩漏時也都會包封在重層的隔離之內，不致擴散到電廠外造成環境污染。

核一廠於 59 年核准興建，60 年底開始施工，一號機反應器於 64 年 5 月完成吊裝，66 年 10 月裝填鈾核子燃料，11 月併聯發電，核定正式運轉日期為 67 年 12 月 6 日；二號機反應器則於 65 年 11 月完成吊裝，67 年 10 月裝填鈾核子燃料，12 月併聯發電，核定正式運轉日期為 68 年 7 月 16 日。

本公司將依「核子反應器設施管制法」第 21 條之規定，採取拆除之方式進行核一廠除役工作；並依「核子反應器設施管制法施行細則」第 16 條之規定，於取得主管機關核發除役許可後，以安全、嚴謹之程序，規劃及執行核一廠除役工作，在 25 年內完成除役作業。

除役相關之輻射防護作業及放射性物料管理均須符合相關法令，以保障工作人員及附近民眾健康安全，並維持環境及生態之健全。拆除或移出之放射性污染設備、結構或物質及除役產生之廢棄物，施以切割、除污及有效工程管理等減量措施，以降低廢棄物產量，減少貯存空間，將貯存於主管機關核准之設施。除役後，廠址之輻射劑量將符合非限制性使用之標準，除保留區(含放射性廢棄物貯存設施)外，其餘土地將朝電力事業用途來做規劃。

根據國際原子能總署資料顯示，目前(2016 年 12 月底)世界上有超過 450 部商用核能機組正在運轉，另根據世界核能協會(World Nuclear Association) 及日本原子力後端推進中心(Radwaste and Decommissioning Center)的訊息，約 160 部反應器機組(包括研究與測試用，其中約 90 部機組為商用機組；有 19 部機組為 1000 MWe 以上)已經永久關閉並且正處於某一除役階段，大約有 15% 之已關閉的核電廠之機組已經完成除役。參考國外之相關除役經驗，歸納執行除役計

畫所需主要之技術及管理能力，包括除役時程規劃能力、拆除作業中安全作業程序設計能力、**除污作業規劃能力**、放射性廢棄物處理/運送/貯存/減量措施規劃能力、輻射劑量評估能力、輻射防護規劃能力、環境輻射監測能力、設備維護管理能力、保安全管理能力、核子保防物料及其相關設備之管理能力、工業安全管理能力、人力規劃及管理能力、品質保證管理能力、意外事件應變管理能力及最終輻射偵測規劃與管理能力；經由上述各項能力之配合，當能施行本計畫之執行。

## (二)台電公司執行本計畫所需之技術與管理能力評估

核一廠是台灣第一座核能發電廠，所屬之兩部機組每年約可供電 100 億度電，不僅曾連續 22 年保持核燃料零破損(無洩漏)優良紀錄，榮獲「績優健康職場-健康管理獎」及全球連續運轉最佳紀錄(538 天)等獎項，更是亞洲第一個完成中幅度功率提升的核能電廠，歷次得獎紀錄一再說明核一廠的運轉、維護、安全管制及廢棄物處理之技術與管理，已累積近 40 年之豐富經驗。

### 1、除役時程規劃能力及拆除作業中安全作業程序設計能力

「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。除役作業規劃以適當的人力，在維護人員與環境安全之原則下，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。核一廠除役各階段工作時程規劃，主要分成四個階段，包括停機過渡階段、除役拆廠階段、廠址最終狀態偵測階段及廠址復原階段。其中停機過渡階段約 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。現已規劃除役各階段之目標及時程，並以甘特(Gantt)圖呈現各階段之拆除程序及預計完成時間，拆除作業考量的安全作業程序應包含通風與過濾、輻射防護(合理抑低- ALARA 原則)、工作安全(墜落防護、聽覺保護、熱效應的風險、手及手臂的振動防護)、電氣安全及消防安全等，擬沿用在運轉期間嚴謹之工作安全程序。在未來除役開始後，將聘請具有國際除役經驗之工程顧問，進行除役工程之細部規劃，並結合本公司內具多年核能相關工程規劃及設計經驗相關之核能技術單位，共同合作執行除役時程規劃，故本公司已具有除役時程規劃能力及拆除作業中安全作業程序設計能力。

### 2、除污作業規劃能力及管理能力

參考國外核電廠之除役經驗，如美國 Maine Yankee 與 Connecticut Yankee 核電廠、德國 Wurgassen 核電廠、瑞典 Barseback 核電廠等，相關之除污作業大致在停機 1 至 2 年後開始進行。除役期間除污規劃以達到降低污染等級、減少工作人員輻射曝露及二次廢棄物產量為目標；系統之化學除污、金屬組件之化學/電化學/機械除污，以及混凝土結構之機械除污等作業，將遵照相關健康、安全及輻防規定，採用符合安全、經濟效益及有效的方法，並訂定該除污作業相關管理措施，以維護人員及作業場所之安全。現有廢液處理系統可繼續留用來處理除役期間因除污所產生之廢液，待系統設備組件拆除、切割及除污程序等作業完成後，才拆除廢液處理系統。本公司於運轉期間已具系統除污、設備除污、組件除污及廠房除污等除污經驗，均能符合國內相關法規要求，並根據核一廠除役計畫各項工作之性質及時程，分階段與國際除役經驗之工程顧問，進行除役工程之細部規劃，並聯合本公司內相關之核能技術單位及具除役技術服務承攬實績之國內廠商、機構，協助執行專業技術之各項除污作業，故本公司已具有除污作業規劃能力及管理能力。

### **3、放射性廢棄物處理/運送/貯存/減量措施規劃能力及管理能力**

本公司自民國 66 年起即著手處理/運送/貯存電廠營運中之各類放射性廢棄物，並成立減廢小組執行「低放射性廢棄物減量執行計畫」，減量成效良好，均能符合國內相關法規要求，各類廢棄物長期呈現穩定減量之趨勢，又參考 NUREG/CR-0672、NUREG/CR-6174，以及西屋公司(Westinghouse)之除役經驗，進行核一廠除役期間各類放射性廢棄物產量之盤點，並依盤點結果進行放射性廢棄物減量措施(包含除污作業、拆除減量及廢棄物外釋處理等)、貯存、運送，以及處置等整體規劃，目前已完成核一廠除役產生之低放射性廢棄物數量及特性推估。故本公司已具有放射性廢棄物處理/運送/貯存/減量措施規劃能力及管理能力。

### **4、輻射劑量評估能力、輻射防護規劃能力及環境輻射監測能力**

依照美國 NUREG-0586(2002)調查統計顯示，核電廠在進入除役活動後，對環境劑量影響將遠低於正常運轉階段，而除役各階段因活動不同，對民眾輻射劑量影響的來源也不盡相同，主要曝露途徑為直接輻射與向天輻射曝露，其次為放射性氣、液體排放。核一廠已評估除役期間相關活動對民眾及工作人員之劑量影響，並規劃輻射防護措施，以符合游離輻射防護法之規定，以證明除役工作可安

全進行且符合輻射合理抑低原則，確保廠界外關鍵群體及廠界內工作人員，於除役活動期間之輻射安全以符合法規要求。除役期間將視除役作業之實際情況，符合正當性、最適化與合理抑低原則，設置輻射防護管理組織及進行人員訓練，依據相關法規提出輻射防護計畫。核一廠之輻射防護計畫已行之有年，故本公司已具有輻射劑量評估能力、輻射防護規劃能力及環境輻射監測能力。

#### 5、設備維護管理能力

除役相關作業活動之管理程序，包括設備管制、維護管理、工安、品保及人員與車輛出入之污染管制規劃，由於電廠於停止運轉後，僅餘用過核子燃料池及其相關支援系統/設備仍維持運轉，無需如電廠運轉階段維持龐大系統/設備與人力，因此將依除役需求，進行系統/設備評估、重新分類，移轉至除役狀態，並配合除役作業推展，修訂最終安全分析報告(FSAR)及技術規範書(TS)等相關文件，以逐步解除不適用部分，故本公司已具有設備維護管理能力。

#### 6、保安全管理能力

門禁管制、人員管制、物品管制與各項保安作業紀錄保存等保安相關措施，將依「核能一廠保安計畫」及相關保安程序書執行，並依除役計畫各階段工作性質適時修訂，故本公司已具有保安全管理能力。

#### 7、核子保防物料及其相關設備之管理能力

除役計畫已擬定核子保防物料及其相關設備之管理規劃，包括核子保防物料、核子保防設施與核子保防器材之名稱、數量、儲存方法、位置與管理程序，確保於執行除役作業時，可符合我國「核子保防作業辦法」及國際原子能總署(IAEA)協議之規定，除役期間將依此規劃執行，故本公司已具有核子保防物料及其相關設備之管理能力。

#### 8、工業安全管理能力

遵行本公司安全衛生政策以「人命為首要、工安最優先，環境設備本質安全為前提」，核一廠制定「職業安全衛生管理計畫」，勵行職安衛政策包含管制風險、符合法規、持續改善、教育訓練等，目標在防止一切職業災害，保障勞工生命安全與健康，設備安全化、作業標準化、身心健康化，防止人為失誤，故本公司已

具有工業安全管理能力。

#### 9、人力規劃及管理能力

本公司為經濟部所屬之國營事業，負責核電廠除役之主辦單位為核後端處。有關於核一廠除役期間之人力規劃，皆依循主管機關及本公司人力資源處之相關規定辦理，未來將依除役各階段之人力需求，逐步進行檢討及組織調整。核一廠除役計畫之執行，以現有核一廠人力為基礎，在除役作業自辦最大化及技術自主化的目標下，延用核一廠 40 年累積之營運人才管理經驗，已具備對於人員運用及管理能力，故本公司已具有人力規劃及管理能力。

#### 10、品質保證管理能力

核一廠除役作業依據原能會公布之「核子反應器設施除役計畫導則」及「核子反應器設施品質保證準則」之品質保證要求，逐項列明品保要旨、權責區分及各項作業要求，訂定「除役作業之品質保證方案」。執行核一廠除役作業時須依照本方案要求，訂定相關作業程序書，嚴格遵行，以確保除役作業之品質，並保障工作人員與民眾健康及環境安全。本公司內有關單位於除役期間，將依循方案內之「權責區分表」各本權責執行管制及稽查等作業要求，故本公司已具有品質保證管理能力。

#### 11、意外事件應變管理能力

依據 NUREG/CR-6451 所述，當用過核子燃料全部自爐心退出後，核電廠原先可能發生之核子事故及風險已經大幅降低；電廠在除役期間，可能對公眾造成危害之事故來源，僅與貯存於用過核子燃料池之用過核子燃料有關，另依照除役各階段的組態不同，考量是否應涵蓋核子事故緊急應變計畫，若用過核子燃料已運出廠外則不需相關之應變計畫，轉為較一般性的應變計畫。本公司已制訂「除役期間意外事件應變方案」說明核一廠於除役期間之意外事件應變組織與權責分工、應變場所與設備，及擬定所應採取之應變處理措施與程序，萬一核一廠除役期間發生意外事件時，能有組織、有系統地迅速處置，使意外事件對人員、設備之損失與對環境之影響降至最低。核一廠營運期間即已擬定「核能一廠緊急應變計畫書」並據以進行平時設備整備與演練，故本公司已具有意外事件應變管理能力。

#### 12、最終輻射偵測規劃與管理能力

除役第三階段為「廠址最終狀態偵測階段」，以確認除役後廠址之輻射劑量是否符合法規之相關規定。目前本公司規劃核一廠除役後之廠址(保留區除外)輻射



劑量將符合「核子反應器設施管制法施行細則」第 17 條「非限制性使用」標準之規定，即對一般人造成之年有效等效劑量不得超過 0.25 mSv。核一廠除役後之最終輻射偵測的相關考量，主要參考美國多部會輻射偵測暨廠址調查手冊(簡稱 MARSSIM)、美國多部會物質與設備偵檢與評估手冊(簡稱 MARSAME)及國外已除役電廠的經驗。目前已完成廠址歷史調查程序，將廠區建物與土地劃分為不受影響區及受影響區，未來完成全面廠址與設施之輻射特性調查及評估結果，進行廠址最終狀態之輻射偵測規劃，細部之最終狀態偵測計畫及相關作業程序書，將於除役第三階段實際執行最終狀態偵測前完成。另本公司亦將依「核子反應器設施管制法」(以下簡稱核管法)第 28 條之規定，除役後應檢附廠址環境輻射偵測報告(相關審查導則尚在研議訂定中)，報請主管機關審查。未來本公司將協同相關之核能技術單位及具相關技術服務承攬實績之國內/外廠商、機構，共同參與相關作業規劃，並已成立相關工作小組研擬除役期間之各項輻射調查工作與經驗之傳承並酌以核一廠運轉期間多年之輻射防護相關規劃經驗及監測數據累積，故本公司已具有最終輻射偵測規劃與管理能力。

### 三、申請人(台電公司)之財務基礎評估

本計畫依據「核能後端營運基金收支、保管及運用辦法」第五條第四款之規定，我國核能發電後端營運基金之支出範圍包括核能發電有關核子設施之除役拆廠，詳細支出範圍如下：

- 甲、核能發電有關之核子設施運轉維護所產生低放射性廢棄物之獨立減容、處理、包裝、運輸、中期貯存及最終處置。
- 乙、用過核子燃料再處理。
- 丙、用過核子燃料或其再處理所產生放射性廢棄物之包裝、運輸、中期貯存及最終處置。
- 丁、核能發電有關核子設施之除役拆廠及其所產生廢棄物之處理、包裝、運輸、中期貯存及最終處置。
- 戊、行政院為推動核能發電後端營運業務專案核定之相關支出。
- 己、管理及總務支出。
- 庚、其他有關支出。

核能發電後端營運基金係每年依分攤率提撥，由民國 76 年成立之「核能發電後端營運基金管理委員會」，95 年 11 月 3 日改為「核能發電後端營運基金管理會」負責所提列後端營運費用之收取、保管及應用。後因考量台電公司民營化之可能性，為使核能發電後端營運基金之管理更具公信力，乃於 88 年改制為經濟部所屬非營業基金，至民國 105 年 12 月底，後端營運基金（含利息）已累積達新臺幣 3,219.87 億元。

依台電公司於民國 99 年完成之「核能後端營運總費用重估與每度核能發電分攤率計算」報告，假設現有 6 部核能機組運轉 40 年，所需核能後端營運總費用約新臺幣 3,353 億元，其中核能電廠除役部分約新臺幣 674.67 億元(含準備金)。而初估本次核一廠除役計畫全程所發生之相關費用包括規劃、除污、拆除、廢棄物處理、環境偵測、土地復原及技術顧問服務費用估計為新臺幣 182 億 450 萬元(97 年幣值)。如下表

| 項目                    | 核一廠每部機組<br>(單位: 百萬元臺幣) |
|-----------------------|------------------------|
| 人事費用-停機過渡階段           | 1,101                  |
| 人事費用-除役執行階段           | 1,824                  |
| 人事費用-除役完成<br>及除役後復原階段 | 68                     |
| 除污、拆除及封裝費用            | 3,023                  |
| 無污染建築物拆除<br>及廠區復原作業費用 | 921                    |
| 環境偵測費用                | 429                    |
| 耗用能源費用                | 229                    |
| 雜項工具費用                | 253                    |
| 行政規費                  | 67                     |
| 合 計                   | 7,915                  |
| 兩部機組總計                | 15,830                 |
| 兩部機組總計<br>(含準備金 15%)  | 18,204                 |

另參考國際間核能電廠除役之實際經驗及有關除役費用之相關報告，與我國核一廠除役預估費用之比較，如表所示：（不含高低放射性廢棄物最終處置及用過核子燃料乾式貯存費用）

| 核電廠名稱或報告資料                    | 型式/<br>發電量 MWe              | 預估除役費用 / 幣<br>值年                                                                       | 資料來源                                                                                                                                                            |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 核一廠<br>(2 部機)                 | BWR/<br>636MWe              | 新臺幣 182 億/2008                                                                         | 核能發電後端營運總費用與每<br>度核能發電分攤率計算(99 年<br>12 月，台電公司)                                                                                                                  |
| Zion 核電廠<br>(2 部機)            | PWR/<br>1040MWe             | 新臺幣 196.58 億<br>/2007                                                                  | Zion Nuclear Power Station<br>Unit 1 and 2 Amended<br>Post-Shutdown<br>Decommissioning Activities<br>Report(March 17, 2008)                                     |
| OECD 報告資料                     | 每 KWe 之除役<br>費用約 420 美<br>元 | 估算核一廠(每部機<br>發電量 636MWe)的除<br>役費用是：<br>420USD/KWe*<br>636MWe*2=5.34 億美<br>金=176.3 億新臺幣 | Decommissioning Nuclear<br>Power Plants: Policies,<br>Strategies and Costs<br>(Organization for Economic<br>Co-Operation and<br>Development, OECD 2003 年報<br>告) |
| Vermont<br>Yankee 電廠(2<br>部機) | BWR/<br>620 MWe             | 新臺幣 184.32 億<br>/2002                                                                  | Site Specific<br>Decommissioning Cost<br>Estimate for the Vermont<br>Yankee Nuclear Power<br>Station, TLG Services Inc.,<br>December 2012                       |

註:美金對臺幣 1:33(97 年估算時之參數)

估算核一廠除役費用，主要參考美國 Vermont Yankee 電廠，其型式及容量與我國核一廠相近，並參考我國條件進行計算，除役經費預估額度相近似。

因核能發電後端營運基金之收支保管及運用，係由「核能發電後端營運基金管理會」管理，為提出財務證明文件，台電公司於 104 年 10 月 15 日以電核端字

第 1048087598 號函，函請該基金管理會具函擔保同意支付本公司辦理第一核能發電廠除役相關工作所需費用，該基金管理會於 104 年 10 月 26 日以核端基字第 10410-0029 號函回復，同意支付本計畫除役相關工作所需費用。

經濟部於 106 年 1 月 26 日經授營字第 10620352040 號函同意，變更現行核能後端營運費用提撥方式，由現行依每度核電分攤率，改採於 2025 年前每年平均分攤固定金額提撥，為確保所提列的後端營運費用足以支應相關工作，每五年或在技術發展、法規及核能發電規模等因素有重大變動時，將重新估算後端營運總費用，提供適時的檢視評估及調整所需經費，以充實核能發電後端營運基金之財務基礎，足可確保本計畫執行期間所需之各項費用財務無虞。本計畫所需各項經費均來自「核能發電後端營運基金」，並有「核能發電後端營運基金管理會」出具同意支付之證明文件，故台電公司之財務基礎足以勝任本計畫之執行。

#### 四、評估結果

綜合上述之評估，再考量電廠除役期間多數現場作業會有承包商參與，因此將比照現行「核一廠承包商管理要點」程序書，制定除役期間承包商管理作業規範，以保障人員設備安全，確保工程施工品質及工程管理。另有關除役知識與經驗的保留與傳承，本公司現正著手推動「除役專業人力培育計畫」成員包含年輕新進人員，並培養相關技術種子講師，建立除役相關專長人力庫及除役資訊資料庫，確保相關資料都能保留及傳承。

本公司已訂定核一廠除役各階段之目標及時程圖，延用核一廠 40 年累積之營運技術與管理能力，目前正積極吸取國外之除役經驗，落實各項除役作業的準備，並有「核能發電後端營運基金」充足提撥，可確保本計畫執行期間所需之各項費用財務無虞，足以勝任「第一核能發電廠除役計畫」之執行。