

## 第十七章 廠房及土地再利用規劃

### 目 錄

第十七章 廠房及土地再利用規劃 .....	17-1
一、 再利用的範圍與規劃.....	17-1
(一) 除役後廠址內廠房及土地再利用範圍 .....	17-2
(二) 再利用之規劃說明 .....	17-2
二、 復原工作.....	17-4
(一) 相關法規要求 .....	17-4
(二) 復原作業 .....	17-5
三、 最終輻射偵測規劃.....	17-7
(一) 偵檢目標與說明 .....	17-8
(二) 偵測設計(包含標準的應用與推導及偵測點數目的決定等).....	17-11
(三) 偵測位置的決定 .....	17-13
(四) 調查基準的決定 .....	17-15
(五) 偵測方法 .....	17-15
(六) 品質保證方案 .....	17-16
(七) 偵測結果的評估及廠址使用劑量標準 .....	17-17
(八) 廠址特性輻射偵測期間未考量之殘留放射性活度 .....	17-19
四、 結語 .....	17-20
五、 參考文獻.....	17-21
附錄 17.A 第十七章廠房及土地再利用規劃之重要管制事項.....	17-28

## 圖 目 錄

圖 17-1 核三廠除役範圍、主要拆除範圍和初步建議保留區示意圖 .....	17-23
圖 17-2 廠址歷史評估、再利用規劃及各階段輻射狀態偵測之關聯性 .....	17-24
圖 17-3 建物與土地污染分級流程(MARSSIM) .....	17-25

## 表 目 錄

表 17-1 核三廠除役後廠址內可能殘留的關注核種.....	17-26
表 17-2 核三廠除役後廠址環境輻射偵測之調查基準.....	17-26
表 17-3 輻射偵檢策略.....	17-27
表 17-4 Sign Test 檢定對量測數據之結論.....	17-27
表 17-5 WRS 檢定對量測數據之結論.....	17-27



## 第十七章 廠房及土地再利用規劃

本章係說明核三廠於除役後，廠址內廠房及土地再利用的範圍與規劃。本公司規劃除役後仍繼續使用之放射性廢棄物貯存設施為保留設施，將放射性廢棄物貯存設施執照範圍區域劃設為保留區，除役完成後將持續接受管制單位之管制。廠址於除役作業的初步階段將先進行初步的輻射狀態偵測，並依據土地再利用方式所使用的劑量標準推算導出濃度指引基準(Derived Concentration Guideline Level, DCGL)，據以將廠區土地分類，以利進行後續除污改善作業。最後，在土地解除管制前，亦將進行最終狀態偵測，以確定土地解除管制時的狀態。本章內容除包含廠址土地再利用範圍與規劃外，亦將說明根據美國多部會輻射偵測與廠址調查手冊(Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, MARSSIM) [1]之建議所做的最終狀態偵測初步規劃，及相關的復原作業。

由於目前核三廠尚在運轉中，僅能依據現有的廠址歷史資料評估及輻射偵測結果進行最終狀態的初步偵測規劃，詳細的最終狀態偵測計畫及相關的作業程序書，將於除役廠址最終狀態偵測階段實際執行最終狀態偵測前完成。

### 一、再利用的範圍與規劃

依據我國「核子反應器設施管制法施行細則」[2](以下簡稱核管法施行細則)第 17 條之規定，設施除役後之廠址應符合下列標準：

1. 限制性使用者：對一般人造成之年有效劑量不得超過 1 mSv。
2. 非限制性使用者：對一般人造成之年有效劑量不得超過 0.25 mSv。

核三廠除役期間廠界劑量設計限值為 0.5 mSv/y；完成除役後，廠址輻射劑量將符合「非限制性使用」之法規標準 0.25 mSv/y，且包含保留區之劑量貢獻。

## (一) 除役後廠址內廠房及土地再利用範圍

核三廠廠房及土地再利用之「廠界範圍(Site Boundary)」與原能會核定「第三核電廠終期安全分析報告(FSAR)」第二章所定義之範圍大致相同。廠區佔地 337 公頃，廠界範圍如圖 17-1 所示。

廠區內部主要分為發電設備廠區及其他周邊區域。

發電設備廠區為主要核能設施所在，包含一號機、二號機、第五台柴油發電機廠房、廢料廠房、水廠、行政大樓、修配大樓、機械大樓、儀控大樓、電氣大樓及技術支援中心，以上設施皆位於除役主要拆除範圍內。

周邊區域有模擬操作中心、放射試驗室、宿舍區、保警中隊部、35,000 m<sup>3</sup>(公乘)儲油槽、5 萬噸水池二座、海水泵室、低放射性廢棄物貯存庫、吊車車庫、倉庫區、資料室、鋼管加工廠、氣渦輪機、345 kV 與 161 kV 開關場、海水淡化廠及南部展示館等設施將視未來需要繼續使用、轉做其他用途或拆除。

除役後之廠房及土地再利用規劃為：將用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)及二號低放射性廢棄物貯存庫等放射性廢棄物貯存設施執照範圍區域列為保留區；保留區外其餘區域則將朝電力設施使用來做規劃，初步規劃範圍如圖 17-1。

## (二) 再利用之規劃說明

### 1. 除役後保留區與沿用設施

核三廠除役時，除役期間興建之用過核子燃料室內乾式貯存設施、二號低放射性廢棄物貯存庫等放射性廢棄物貯存設施以集中設置規劃為原則，待除役完成後劃設為保留區(圖 17-1)。原低放射性廢棄物貯存庫將進行除役並於除污後保留建物供日後再利用。

除役期間擬興建設施之規劃說明如下：

#### (1) 二號低放射性廢棄物貯存庫：

除役期間於保留區將新設一座低放射性廢棄物貯存庫(含壓縮減容設備及廢樹脂處理系統)，本設施規劃於核三廠西北角預定地範圍內，其貯存之盛裝容器均經由原能會核准使用。

(2)用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)：

用過核子燃料室內乾式貯存設施規劃於廠區西北角用地，可容納二部機組除役前全部運轉週期之用過核子燃料，並依據政策指示採用室內乾式貯存設施，同時考量護箱之檢查及置換功能，將規劃與再取出單元共構。

上述新建設施興建前，本公司將依「放射性物料管理法」[3]第 17 條及第 18 條之規定，另案向原能會提出建造執照及運轉執照申請；正式運轉前，依同法第 18 條向原能會物管局申請。(運轉執照申請相關規定，詳「放射性物料管理法施行細則」[4]第 26 條規定)。

以上所述放射性廢棄物貯存設施執照範圍區域劃設為保留區，未來將持續接受管制單位之管制，本公司將保留適當人力進行管理。其中所貯存之用過核子燃料及低放射性廢棄物將待國內相關處置設施建置完成後，再移至處置場進行處置。相關設施將依規定在其邊界上設置固定圍籬、圍牆及保安、保防設施，以防止非工作人員進入，詳細規劃請參照本計畫第 14 章。為符合「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」第 5 條之規定，確保其對設施外一般人所造成之個人年有效劑量，不超過 0.25 mSv，並符合合理抑低原則，擬規劃設置相關結構屏蔽，以降低工作人員及一般民眾劑量。放射性廢棄物貯存設施執照以外之區域，將一併納入核三廠廠址最終輻射偵測範圍。保留區邊界及進出動線，未來將根據輻射劑量評估結果及本公司管理之方便性妥善規劃。

## 2. 其他區域之規劃

核三廠廠區內之土地除前述保留區外，其餘解除管制之區域目前朝電力設施使用為規劃方向，並俟適當時間配合未來政府政策、公司經營，以及考量地方發展等，進行更深入之規劃。

## 二、復原工作

核三廠除役期間的復原工作分為廠房與土地復原作業，將在發電設備廠區內等主要設施設備拆除後開始執行。復原工作須遵循相關法規要求以符合除役後輻射劑量之標準。

### (一) 相關法規要求

除役後期需執行「最終狀態偵測」，以確認廠址之輻射劑量是否符合法規之相關規定。目前本公司規劃核三廠除役後之廠址(包含保留區)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劑量不得超過 0.25 mSv 之要求。另本公司亦將依「核子反應器設施管制法」[5]第 28 條之規定，除役後檢附廠址環境輻射偵測報告，報請主管機關審查。於除役過程中產生之放射性廢棄物，若需進行外釋時，本公司則將依「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」[6]第 4 條之規定，提出載明下列事項之外釋計畫，報請主管機關核准後，執行外釋作業。

1. 管理組織及權責
2. 廢棄物之來源及特性
3. 廢棄物之活度或比活度量測及分析方法
4. 廢棄物之外釋方式及場所
5. 品質保證方案
6. 其他經主管機關公告之事項。

## (二) 復原作業

### 1. 建物及結構

根據 MARSSIM 之建議，經由廠址歷史調查程序，可將廠區建物與土地劃分為未受影響區及受影響區，相關區域範圍請參閱本計畫第三章圖 3-25 及 3-26。未受影響區不需進行輻射偵測。未受影響區的建物與結構之復原，依內政部營建署所公布之「建築物拆除施工規範」[7]要求辦理。

受影響區的建物與土地(不包含保留區)，則應依再利用的範圍與規劃所使用之法規劑量限值，推算導出濃度指引基準(DCGL)，再配合範圍偵測與特性偵檢之偵測結果，將偵測區域分為三個級別：

- 第 1 級：現在或過去曾經含有高於 DCGL 之放射性核種濃度的污染可能性高、含有小區域高活度的可能性、或沒有足夠證據將此區域歸類為第 2 級或第 3 級者。
- 第 2 級：現在或過去曾經含有高於 DCGL 之放射性核種濃度的污染可能性低、幾乎不會有小區域高活度的可能性。
- 第 3 級：現在或過去幾乎不會有含有高於 DCGL 之放射性核種濃度的污染可能性，但沒有證據可以將此區域列入未受影響區。

第 1 級受影響區為污染活度高於 DCGL 值可能性較高之區域，需進行除污改善作業，如建物的混凝土受污染表面移除、受污染的土壤移除等，除污改善作業期間，須輔以偵測，以監測除污的有效性，並經評估符合導出濃度指引基準後，方能停止除污工作。最後，第 1 級、第 2 級與第 3 級受影響區須進行最終狀態偵測，證實殘餘放射性不超過所定之 DCGL 值，符合廠址使用劑量標準後方可解除管制，流程如圖 17-2。保留區的建物/設施部分，屆時將按照游離輻射防護法、放射性物料管理法等法規之規定，執行定期監測作業，未來規劃不再使用時，將依相關法規規定，辦理後續除役事宜。

受影響之建物及結構之復原原則說明如下：

- (1) 移除建物內所有系統及設備，根據不同之系統與設備做適當之處理後移出建物外。
- (2) 建物結構表面除污以移除表面污染物，所移除之污染物依放射性廢棄物相關規定處理，移除方式以移除放射性污染層、減少廢棄物體積、確保人員作業安全為基本原則，以減少放射性廢棄物數量。根據美國核管會之研究報告 NUREG/CR-6174[8]，核能電廠受污染之混凝土牆壁，平均只要刮除 1 in (約 2.54 cm) 厚即可達到無污染層；屆時本公司將依實際偵檢結果，移除合適厚度的受污染混凝土牆壁。
- (3) 移除表面污染後的剩餘結構經放射性比活度取樣分析，分析結果需低於所推導之 DCGL 值；為配合回填作業與運出廠外處理作業，尚需符合「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」所定之外釋限值。其在地表下 1 m 以上之結構將予以拆除，地表下方 1 m 以下之結構表層經偵測確保低於 DCGL 值，則予以保留。
- (4) 拆除之混凝土塊，將進行原廠址處置，建物地表 1 m 以下之空間，將以拆除下來且經放射性比活度量測後符合「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」之混凝土塊進行回填，回填材料與粒徑則參考我國公共工程委員會「公共工程施工綱要規範-第 02332 章營建剩餘土石方材料回填」之要求，用適當之機具破碎至一定粒徑以下進行回填，回填後表面上保留 1 m 之空間以無污染之覆土回填至地表。
- (5) 如有受放射性污染之建物，經評估將於除役後保留移作他用，則將依輻射特性調查結果執行清理復原作業，經評估符合 DCGL 後，方可解除管制及再利用。
- (6) 不受放射性污染建物及結構之復原(包含留用或拆除)，如須拆除，依內政部營建署所公布之「建築物拆除施工規範」要求辦理外，亦須依循「屏東縣建築管理自治條例」[9]第十五條辦理申請拆除。

## 2. 土地復原

未來於除役廠址最終狀態偵測階段，將會再進行更詳細的輻射偵測。若發現廠區有土壤受到放射性污染，亦即經判定輻射濃度高於 DCGL 者，則將受污染之土壤視為放射性廢棄物，移除後裝入廢棄物容器處置，亦或採取其他方式，將放射性濃度移除至低於 DCGL。移除區域依「土壤及地下水污染整治法施行細則」[10]辦理回填無污染之土壤，直至該區域輻射偵測值符合廠址使用劑量標準為止。詳細之污染土壤復原方案，請參考本計畫第八章。

## 3. 地下水處理

未來於除役廠址最終狀態偵測階段進行輻射偵測後，若發現有地下水污染，將視污染情況參考國外經驗，採用適當之處理方案，如抽出法(Pump and Discharge)、抽出再處理法(Pump and Treat)、覆蓋封頂技術(Capping Technology)、工程包封法(Engineered Confinement)或適合之方式進行處理，直至地下水輻射偵測值符合廠址使用劑量標準為止。詳細之受污染地下水處理方案，請參考本計畫第八章。

### 三、最終輻射偵測規劃

由於目前核三廠尚在運轉中，現階段僅能依據 MARSSIM 之建議進行最終狀態的初步偵測規劃，詳細的最終狀態偵測計畫及相關的作業程序書，將於除役廠址最終狀態偵測階段實際執行最終狀態偵測前完成。依據「核子反應器設施除役許可申請審核及管理辦法」第 13 條，將於進入廠址復原階段後 6 個月內完成並提送除役後之廠址環境輻射偵測報告及除役完成報告，報請主管機關審查同意後，解除除役管制。

根據 MARSSIM 之建議，經由廠址歷史調查程序(請參考除役計畫第三章【設施運轉歷史及曾發生之重大事件與其影響】)，可將廠區建物與土地劃分為未受影響區及受影響區。對未受影響區而言，可不依 MARSSIM 偵檢流程執行偵檢，惟解除管制前須確認符合輻射背景值變動範圍；對受影響之建物或土地(不包含

保留區)，則應依本章第一節再利用的範圍與規劃所使用之法規劑量限值，推算 DCGL，再配合範圍偵測之偵測結果，將殘餘活度遠低於 DCGL 值之地區歸類為第 3 級受影響區。並利用特性調查偵測將其餘受影響區分類為第 2 級(污染活度高於 DCGL 值可能性低)與第 1 級(污染活度高於 DCGL 值可能性高)受影響區，後者須參考本章第二節復原工作之要求，進行除污改善行動(如污染建物混凝土與土壤的移除，或污染地下水的處理作業)，期間配合改善措施輔助偵測以監測除污的有效性，確定其污染程度符合 DCGL 標準，除污工作方可停止。最後，所有受影響區(包含第 1 級、第 2 級、第 3 級)將依最終狀態偵測規劃進行最終狀態偵測，證實殘餘放射性不超過所定之 DCGL 值，符合廠址使用劑量標準，方能將廠址解除管制及再利用(上述程序如圖 17-2 所示)。

### (一) 偵檢目標與說明

最終狀態偵測為確認設施除役後廠址之輻射劑量(或比活度)標準符合法規限值。由於目前核三廠尚在運轉中，僅能依據本計畫第三章設施運轉歷史及曾發生之重大事件與其影響，以及本計畫第四章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、DCGL 推算及相關作業程序書，將於除役廠址最終狀態偵測階段實際執行最終狀態偵測前完成。包含：1.執行步驟、方式和程序；2.核種之偵測方法與最低可測值；3.量測設備、偵檢方法、校正程序、儀器操作前查驗方式、涵蓋範圍與靈敏度；4.實驗室樣品之蒐集、管理與處理方式等，將於最終輻射偵測計畫中補充說明。目前最終狀態偵測之相關規劃說明如下：

執行除役後廠址最終狀態偵測之目的，在於證實各偵檢區域內殘留之放射性物質可滿足法定的廠址使用劑量標準(本公司係採對一般人造成之年有效劑量不得超過 0.25 mSv 之非限制性使用限值)。

廠址最終狀態偵測係由法定之廠址使用劑量標準出發，經由下列三步驟完成結果判定：首先藉由曝露途徑模式，將廠址使用劑量標準轉換為以活度濃度為單位之 DCGL；其次，經由偵測及取樣分析作業，評估偵檢區域殘餘之輻射水平；最後，利用統計方法，判定廠址能否解除管制。

根據 MARSSIM 之定義，若物質中的核種活度濃度會造成與廠址使用劑量標準相同的總有效劑量或風險值，則將該活度濃度值稱為 DCGL。除役後廠址最終狀態偵測(即 MARSSIM 所指之「最終狀態偵測(Final Status Survey)»)之規劃，係針對土地、建物等區域，依據其未來使用之目的，分別推導其 DCGL，藉此可對區域內細部的偵檢單元進行受影響程度的分級，進而有助於規劃量測位置、取樣密度等作業細節。

為便於執行廠址復原及管制作業，廠址使用劑量標準將透過曝露途徑模式，轉換成以活度濃度為單位的 DCGL。核三廠廠址 DCGL 的推導，將採用美國阿岡國家實驗室(Argonne National Laboratory, ANL)所開發的 RESRAD family 程式。此程式已通過美國核管會的驗證，並為美國、西班牙等國管制單位所使用。RESRAD family 程式有許多分支，其中 RESRAD ON-SITE 及 RESRAD-BUILD 與廠址除役 DCGL 的推導較為相關，前者係針對土地、土壤的解除管制，後者則針對建物、結構物的解除管制。

DCGL 的推導分為五個步驟：決定廠址未來用途(與對應之廠址使用劑量標準)、關注核種、曝露情節、曝露途徑及廠址特定參數。

- 決定廠址未來用途

推導 DCGL 的第一步，首先要決定核三廠廠址未來的用途，因為這關係到土地使用劑量標準的選擇。若除役後廠址採非限制性使用，其土地使用劑量標準會比採限制性所使用的標準更為嚴格。就我國而言，為儘可能滿足社會期待，儘可能抑低對民眾的影響，將採廠址除役後輻射劑量符合非限制性使用標準的方向進行規劃，因此，土地使用劑量標準為「對一般人造成的年有效劑量不超過 0.25 mSv」。

- 關注核種

在決定廠址未來用途之後，便要判定除役後可能殘留在廠址內的關注核種。由於各核種的物性、化性不同，核種傳輸的速度及對人體的危害也會有所差異，因此，要對各關注核種個別評估其 DCGL。核三廠可能的關注核種清單，可由其終期安全分析報告之排放核種源頭、運

轉歷史資料、特性調查結果以及廢棄物核種清單等來源評估而得；初步研判核三廠除役後可能殘留於廠址內的關注核種，如表 17-1 所示，未來將配合機組運轉執照屆期後現場輻射特性調查作業之結果確認/更新。

- 曝露情節

曝露情節與廠址未來之用途有關，分析情節一般包含居住農夫、工廠工人、休閒活動等。根據目前廠址再利用規劃策略，核三廠未來將朝電力設施使用為規劃方向，但考量輻射防護保守性及合理抑低原則，以及未來變更土地用途為任意使用之可能性，本公司將保守採用居住農夫情節，並考量所有可能曝露情境，選擇適切之曝露途徑來評估 DCGL。

- 曝露途徑

曝露途徑與受曝者的行為模式及廠址特性息息相關，可能之曝露途徑包含體外直接曝露，以及飲食、呼吸等體內曝露途徑。

- 廠址特定參數

為評估核種的遷移速度，推導 DCGL 時，也需要與廠址特性相關的水文及地質參數等資料。這類參數數量繁多，為求有效率地推導 DCGL，會對相關參數進行靈敏度分析，取得對 DCGL 推算結果影響較顯著的參數。

經過上述的五個步驟，便可推導出廠址的 DCGL。

假設殘餘污染在偵檢單元內呈均勻分佈，所推導出來的 DCGL 命名為「DCGL<sub>W</sub>」(W：Wide Area，即廣範圍比較基準)。若在偵檢單元內有局部區域的污染量偏高，考量其導致輻射劑量的貢獻比率，另以偵檢區面積對受污染面積的比例來修正 DCGL<sub>W</sub> 值，命名為「DCGL<sub>EMC</sub>」(EMC：Elevated Measurement Comparison，即高量測值比較基準)，定義 DCGL<sub>EMC</sub> 的用意，在於確保即便有小範圍的污染值高於 DCGL<sub>W</sub>，但對整個偵檢單元而言，其輻射水平仍能符合土地使用劑量標準。

## (二) 偵測設計(包含標準的應用與推導及偵測點數目的決定等)

為確認除役後廠址符合土地與建物使用的劑量標準，本公司依各項目之特性與特性調查的分級結果，將其加以區分規劃其偵檢作業；並於各偵檢包的調查範圍內，另以區域、房間為單位將特性相近的局部區域進一步細分為個別的偵檢單元，並依據統計學原理，規劃具代表性的偵測點數目及點位，確保廠址內殘留之輻射水平符合標準。最終狀態偵測設計包含下列步驟：

### 1. 建立資料品質目標(Data Quality Objectives, 以下簡稱 DQO)

建立 DQO 之目的，在於確保輻射偵測的結果能有充分的品質與數量，可支持最後廠址能否解除管制之決定。本步驟有三項要點：

#### (1) 清楚陳述偵檢目標與假設前提

偵檢目標是要證明殘留的輻射水平可達土地使用的劑量標準，為了證明符合目標，將先訂定虛無假設(Null Hypothesis)與替代假設(Alternative Hypothesis)，從保守的角度出發，虛無假設係假定殘留放射性污染超過廠址使用劑量標準，而替代假設則假定殘留放射性污染符合廠址使用劑量標準。若最後結果判定虛無假設不成立，則表示替代假設成立。

#### (2) 選擇統計檢定法及誤判容許率

MARSSIM 建議可使用 Wilcoxon Rank Sum(以下簡稱 WRS)及 Sign Test 等兩種非參數(Nonparametric)統計檢定法，評估除役後環境輻射偵測資料。背景中存在關注核種時，採用 WRS 檢定法；背景中若不存在關注核種，則用 Sign Test 檢定法。事實上，不論用何種檢定方法，皆有可能誤判結果，因此，須訂定其誤判容許率，用以界定量測結果是否確實超出標準。誤判分為偽陽性(False-Positive)與偽陰性(False-Negative)，其對應的誤判容許率分別為 TYPE I 誤差( $\alpha$ )與 TYPE II 誤差( $\beta$ )，誤判容許率為殘留放射性之函數，可在偵測計畫中以 DQO 作業流程決定。

### (3) 偵測設計之最適化

某些偵檢單元，可能在使用現有的資源後，須適時修訂 DQO 的目標，此時便需適當修訂偵測設計。修訂措施包含：

- 考量誤判後果，適量增加誤判容許率。
- 降低灰區下限(Lower Bound of Gray Region, LBGR)，以增加灰區寬度。灰區(Gray Region)係指對於一個偵檢單元而言，做出錯誤決定所導致的後果較不嚴重時，其所關注參數值之範圍。
- 變更其偵檢單元邊界，便可能降低量測成本，惟可能需要不同的偵檢決策。

## 2. 選擇背景參考地區

選擇背景參考地區之目的，在於確定並排除非核電廠之輻射源對廠址造成之輻射影響，如核子武器試爆或已知重大核電廠意外事故所產生之全球性放射性落塵等。選擇背景參考地區時，有兩個基本原則需要遵守：首先背景參考地區的物理、化學、地質、放射性、生物學等性質應與廠址的性質相近，若廠址的上述性質無法由單一背景參考地區所代表，便可能要選擇兩個以上的背景參考地區。第二個原則，背景參考地區一般而言選在不受影響的地區，如果不容易獲得合適的背景參考區，可從偵檢單元中不存在殘餘放射性的區域來獲取背景訊息，即可選在受影響區 3 級之區域。另外，依長期氣象觀測，核三廠風向主要為冬天吹東北季風，夏天則受西南氣流及海陸風影響，即核三廠全年受東北及西南兩大風系影響最大，因此參考核三廠輻射特性調查 R 類偵檢規劃結果，建議位於廠區西北方之油槽區(R01000)或東方之宿舍區(R00600)作為背景參考區域。

### 3. 決定偵測點數量

偵測點數量之規劃取決於能否符合 DQO 之要求，此與背景中是否存在關注核種及污染之分布有關。當殘餘放射性污染均勻分布於偵檢區時，則依據關注核種存在於背景與否，選擇適當之檢定法(WRS 或 Sign Test)，以決定偵檢區需選取多少量測點，方可滿足統計學上之檢定，再利用計算出之量測點數量決定「系統模式」量測點之間隔(亦可應用 COMPASS 程式輔助最終狀態偵測規劃與設計)。此外，當偵檢區含熱點(Hot-spot)時，使用上述之量測與取樣分析，再配合表面掃描，則可充分保證小面積高污染區域符合廠址使用劑量標準。

#### (三) 偵測位置的決定

根據本計畫第三章設施運轉歷史及曾發生之重大事件與其影響之評估結果，可將核三廠之建物與土地初步劃分為未受影響區及受影響區，而實際偵測位置還需依其可能之輻射水平進行規劃。就偵檢區之輻射水平而言，綜合廠址運轉歷史資料、除役期間之偵測作業結果，以及參考圖 17-3 之流程，可將偵檢區之輻射水平分為三個級別。對於第 1 級與第 2 級區域，將根據統計檢定所計算的偵測點數，以隨機起點系統模式(Random-Start Systematic Pattern)選取偵測位置。其作法為先選擇佈點方式(如方格式或三角式)，並依規劃之偵測點數，計算偵測點間之距離。再以亂數之方式選擇起點，並於地圖上建立佈點系統。如標示點落在偵檢區外或無法取樣之位置，則須使用隨機方式，選取其他位置作為偵測點，使該偵檢區內之偵測點數量能符合原先規劃。

於第 3 級偵檢區及背景參考地區所進行之量測與取樣，將採用隨機方式進行選點，其位置係由亂數產生。若選出之偵測點位置落在偵檢區外或該處無法執行偵測，則將以相同的選點方式改選其他位置作為偵測點。

由於核三廠尚在運轉中，僅能參考本計畫第三章設施運轉歷史及曾發生之重大事件與其影響，以及本計畫第四章廠址與設施之輻射特性調查及評

估結果之結論，將曾經或仍進行放射性活動且受到輻射影響之建物與土地區域做初步分類。依據本計畫第三章、圖 3-25 與圖 3-26 所標示之受影響區，初步分類如下：

受影響區域：

- 建物/結構：一號機、二號機之輔助廠房、燃料廠房、圍阻體廠房、燃料更換水貯存槽(RWST)及反應器補充水貯存槽(RMWST)區域；廢料廠房、熱修配廠房、核機冷卻水廠房、進出管制廠房(輻射安全管制站)、低放射性廢棄物貯存庫、E 暫存庫、出水渠道(至出水口)等，詳見本計畫第三章圖 3-25 所標示之區域。
- 土地：包含上述廠房區域內的土地，另檢視核三廠曾發生受影響重大事件之影響區域，雖已經整復良好、無放射性污染與未影響廠外環境與民眾之輻射安全，惟仍保守假設主警衛室內部分土地為受影響區：廠區環境偵測發現若干放射性碎屑分布區域、反應器冷卻水泵運送過程滴水造成地面污染區域、廢料廠房鄰近部分道路，詳見本計畫第三章圖 3-26 所標示之區域。

未受影響區：

- 建物/結構：一號機、二號機之控制廠房、汽機廠房、柴油機發電廠房、柴油機燃油貯存槽、開關設備廠房、儀器大樓、輔助鍋爐間；第五台柴油發電機廠房、馬達工廠、機械維修大樓、燃油貯存槽、冷修配廠房、水廠、消防泵室、冷凝水貯存槽、海淡水貯存槽、行政大樓、技術支援中心、主警衛室、宿舍區、民生廢水處理廠、南部展示館、模擬操作中心、A、B、C、D、F 暫存庫、放射試驗室核三工作分隊等區域。
- 土地：上述建物周圍的土地。

實際受影響區的分級(第 1、2、3 級)，仍須以機組運轉執照屆期後所執行的偵測結果做最後確認。故應於實際進行最終狀態偵測前，根據配合廠址

最終狀態及特性調查結果完成 DCGL 值推導並再確認第 1、第 2 或第 3 級之分佈。且最終狀態偵測規劃採用之偵檢單元亦應根據除役拆除作業完成之最終狀態，對不同污染分級區域進行最終狀態之偵檢單元規劃。

#### (四) 調查基準的決定

調查基準係針對關注核種的活度管制值，為是否採取額外調查行動的指標，也是品質管制查核項目，可由此指標，判定整個量測過程在控管範圍內進行；若發現調查結果超過調查基準，首先應確認原始的量測及樣品分析結果是否確實超過特定的調查值，如是須採取進一步量測，進而確定殘留高活度的區域及其輻射水平所造成的輻射劑量與風險度，以達到整治後符合土地使用劑量標準。依據調查行動的結果，偵檢區可能需重新分類輻射等級、執行改善措施或再偵檢。

參考 MARSSIM 建議及核三廠於運轉期間之調查基準，核三廠除役後之調查基準規劃如表 17-2。對於第 1 級與第 2 級區域，調查基準分別為  $DCGL_{EMC}$  與  $DCGL_W$ ，對於第 3 級區域，因預期該區域內不會有高污染，故第 3 級區域的調查基準採用  $DCGL_W$  的分率，該分率為 0.1~0.25 (表 17-2)。

#### (五) 偵測方法

參照 MARSSIM 及國外除役經驗，偵測方法可分為現場調查及取樣分析，而現場調查可進一步區分為直接量測與掃描。掃描作業是使用移動式或手提式輻射偵檢器，對偵檢區內之表面進行快速偵測，以找出輻射異常之位置。直接量測係選用適當的偵檢儀器(例如：大面積充氣式比例計數器、閃爍偵檢器或其它具相同功能的儀器)，設於距受測表面一定距離的位置，並以規定的時間進行量測。取樣分析則為偵檢人員依照相關程序書的規定，選用適當的設備，按照預定的步驟，對廠址及結構物進行取樣及包裝，並送至實驗室分析其放射性核種含量。直接量測及取樣分析可決定偵檢區內的殘餘污染的平均活度。

本公司將按偵檢區輻射等級之差異，進行輻射偵檢策略之規劃，如表 17-3。

1. 對於輻射等級為第 3 級的區域，應由歷史資料及先前的偵檢結果進行判斷，並對可能有殘存污染的表面執行表面掃描。在掃描結果超過調查基準的位置，須額外執行直接量測或取樣分析。如果污染的驗證結果發現，該區域的輻射分級不正確，便要執行第 3 級地區分類的再評估，如有需要，並將該偵檢區的全部或一部分重劃為第 1 級或第 2 級。
2. 對於輻射等級為第 2 級的偵檢區，須執行面積 10~100% 的表面掃描，並對高於調查基準的位置進行必要的確認與調查。如調查證實該區含有高污染的局部區域，便要將該偵檢區的全部或一部份重新歸類為第 1 級輻射地區，並重新設計其偵檢策略。
3. 對於輻射等級為第 1 級的偵檢區，須執行 100% 表面掃描偵檢，掃描後並對高於調查基準的位置進行直接量測或取樣分析。若直接量測或取樣分析的結果顯示超過調查基準，便要標記該位置，並採取必要的改善措施。

量測及取樣分析方式請參考本章三、（三），偵檢人員會依照相關程序書的規定，選用適當的設備，按照預定的步驟，對廠址及結構物進行取樣及包裝，並送至實驗室分析其放射性含量。實驗室樣品之蒐集、管理與處理方式等，將於最終輻射偵測計畫中補充說明。如有需要了解受測區域的污染深度分布，將選定適當位置進行鑽探，收集鑽心樣品，並逐層切片分析其放射性活度，以決定放射性核種的穿透深度及活度分佈。

#### **(六) 品質保證方案**

對於核三廠除役後最終狀態偵測作業的執行，應依照本公司核能電廠除役品質保證方案之規定進行，作為各作業之品質保證準則。此外對於人員訓練，也需擬定相關作業之訓練計畫，並在作業執行前，對調查團隊全體成員實施教育訓練，完成教育訓練者方能參與相關作業。

## (七) 偵測結果的評估及廠址使用劑量標準

執行廠址最終狀態偵測作業之目的係在證實核三廠廠址內之殘留輻射水平可符合廠址使用輻射劑量標準。核三廠完成除役後，對於輻射劑量管制上的考量，請參考本章第二、(一)節相關法規要求所述。

一般而言，廠址最終狀態偵測作業完成後，對於偵測結果的評估，各偵測結果均將與 DCGL 進行比較，藉此評估廠址殘存的放射性是否超過法定的土地使用劑量標準，其數值評估可能之結果如下：

1. 偵檢單元內全部的量測數據均高於 DCGL；
2. 偵檢單元內全部的量測數據均低於 DCGL；
3. 偵檢單元內的量測數據部份高於 DCGL，部份低於 DCGL。

第 2 項量測結果表示偵檢單元符合廠址使用劑量標準。若發生 1 或 3 的情形，應再進行改善措施評估或除污並再進行量測分析，以確保該區域符合 DCGL 標準。

為決定數據是否為正確的類型，且其品質及數量能否支持預期目標，MARSSIM 建議使用兼具科學性與使用性的評估方式 – 資料品質評估(Data Quality Assessment, DQA)，其程序包含下列五個步驟：

### 1. 審查 DQO 與偵測設計

DQA 程序中，首先要審查 DQO 的輸出，以確保其適用性。例如偵檢單元分級為第 3 級，但量測數據顯示此偵測單元為第 1 級，則原始 DQO 應改正為正確之分類。DQA 程序產生的回顧檢定力(Retrospective Power)會與 DQO 程序產生的預期檢定力(Prospective Power)比較，藉此證明此偵檢作業能否符合偵測設計目標。檢定力不足，將可能導致誤判，對實際符合土地使用劑量標準的偵檢單元，執行不必要的改善行動。

## 2. 執行數據的初步審查

量測數據之基本統計量有平均值、標準差、中數值。若背景中不存在關注核種，但偵檢單元之量測數據平均值超過 DCGL，便清楚顯示偵檢單元不符合廠址使用劑量標準；又若每個量測數據都低於 DCGL，則顯示偵檢單元符合廠址使用劑量標準。

量測數據的標準差( $\sigma$ )為相當重要之指標，若該值遠大於原先之估計值，可能表示實際量測點數量不足，無法達到預期之檢定力。中數值為數據群之中間值。當平均值與中數值出現差別時，顯示數據分布出現偏斜情形，在直方圖中亦會表現出來。最後檢查數據之最大值、最小值與變異範圍，可以提供額外有用之資訊。

## 3. 圖形資料審查

圖形資料至少要有位置圖與直方圖，前者可顯示數據的空間分布，後者可檢查數值的分布型態。

## 4. 選擇統計檢定

MARSSIM 建議使用非參數(Nonparametric)統計檢定，此種檢定為針對中數值之統計檢定。若數據呈現對稱分布，且中數值與平均值相近，此時亦可視為平均值的統計檢定。假如違反對稱假設，中數值之非參數統計檢定仍可適切地近似平均值之統計檢定，換言之，即便是針對偏斜的數據分布，非參數統計檢定亦可正確判定平均濃度值是否超過 DCGL。

## 5. 證實統計檢定的假設與結論

有三種偵測型式可在偵檢單元中執行：(1) 在不同位置執行直接量測；(2) 在不同位置取樣；(3) 掃描作業。統計檢定僅適用於在不同位置執行量測所得到的量測數據。若背景中不存在關注核種，便可採單一樣品的 Sign Test 檢定，其數據解釋方式如表 17-4 所示；若背景中存在關注核種，便採雙樣品 WRS 檢定，其數據解釋方式，如表 17-5 所示。

#### (八) 廠址特性輻射偵測期間未考量之殘留放射性活度

放射性廢棄物貯存設施(二號低放射性廢棄物貯存庫、用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)等)，將在核三廠除役後仍被保留，這些設施內殘留的放射性活度，雖未在廠址特性偵測期間加以考量(不屬於最終狀態偵測的範圍)，但在核三廠除役後，這些設施仍將劃為管制區，並按相關程序書執行監測，確保該區輻射水平可符合「核子反應器設施管制法」、「游離輻射防護法」[11]及「放射性物料管理法」等法規之相關規定。

#### 四、結語

核三廠主要拆除範圍為發電設備廠區內之建物或設施，在除役期間將逐步拆除。主要拆除範圍外之設施，未來將視需要繼續使用、轉做其他用途或拆除。

除役期間擬興建設施包括二號低放射性廢棄物貯存庫、用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)，以應最終處置設施完成移置前之中期貯存需要，待除役完成後將放射性廢棄物貯存設施執照範圍區域劃設保留區，持續接受管制單位之管制，本公司將保留適當人力進行管理。

廠區範圍內之土地與建物結構將依據 MARSSIM 之建議，劃分為未受影響區及受影響區。受影響區須依據 MARSSIM 偵檢流程，執行輻射偵檢；未受影響區可不依 MARSSIM 偵檢流程執行偵檢，惟解除管制前須確認符合輻射背景值變動範圍。受影響區的建物與土地(不包含保留區)，則依再利用的範圍與規劃所使用之法規劑量限值，推算 DCGL，再配合範圍偵檢之偵測結果，將偵檢區域分為第 1 級、第 2 級及第 3 級，據以進行除污改善之復原作業。

復原作業將在發電設備廠區內等主要設施設備拆除後開始執行。廠區內若有土壤受到放射性污染，亦即經判定輻射濃度高於導出濃度指引基準(DCGL)者，則將受污染之土壤視為低放射性廢棄物，移除後裝入廢棄物容器貯存。移除區域依「土壤及地下水污染整治法施行細則」辦理回填無污染之土壤，直至該區域輻射偵測值符合廠址使用劑量標準為止。除污改善之復原作業經評估符合 DCGL 後，方能停止除污工作。最後，第 1 級、第 2 級與第 3 級受影響區須進行最終狀態偵檢，證實殘餘放射性不超過所定之 DCGL 值，符合廠址使用劑量標準後方可解除管制及再利用。最終狀態偵檢作業的執行，將依照本公司核能電廠除役品質保證方案之規定進行，作為各作業之品質保證準則。

保留區內設施殘留的放射性活度，雖未在廠址特性偵測期間加以考量(不屬於最終狀態偵測的範圍)，但在核三廠除役後，這些設施仍將劃為管制區，並按相關程序書執行監測，確保該區輻射水平可符合「核子反應器設施管制法」、「游離輻射防護法」及「放射性物料管理法」等法規之相關規定。

核三廠主要拆除範圍外之土地除前述保留區外，現有之建物或設施將視未來需要繼續使用、轉做其他用途或拆除，解除管制之土地目前朝電力設施使用為規劃方向，並俟適當時間配合未來政府政策、公司經營，以及考量地方發展等，進行更深入之規劃。

## 五、參考文獻

1. Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual (MARSSIM) (Revision 1). NUREG-1575 Rev. 1, EPA 402-R-97-016 Rev. 1, DOE/EH-0624 Rev. 1, Nuclear Regulatory Commission, August 2000.
2. 中華民國行政院原子能委員會，「核子反應器設施管制法施行細則」，107年11月16日。
3. 中華民國，「放射性物料管理法」，91年12月25日。
4. 中華民國行政院原子能委員會，「放射性物料管理法施行細則」，108年11月21日。
5. 中華民國，「核子反應器設施管制法」，92年1月15日。
6. 中華民國行政院原子能委員會，「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」，93年12月29日。
7. 中華民國內政部營建署，「建築物拆除施工規範」，107年12月10日。
8. Revised Analyses of Decommissioning for the Reference Boiling Water Reactor Power Station – Effects of Current Regulatory and Other Considerations on the Financial Assurance Requirements of the Decommissioning Rule and on Estimates of Occupational Radiation Exposure, NUREG/CR-6174, U.S. NRC, July 1996.
9. 中華民國屏東縣政府，「屏東縣建築管理自治條例」，103年8月26日。
10. 中華民國行政院環境保護署，「土壤及地下水污染整治法施行細則」，99年12月31日。

11. 中華民國，「游離輻射防護法」，91年1月30日。

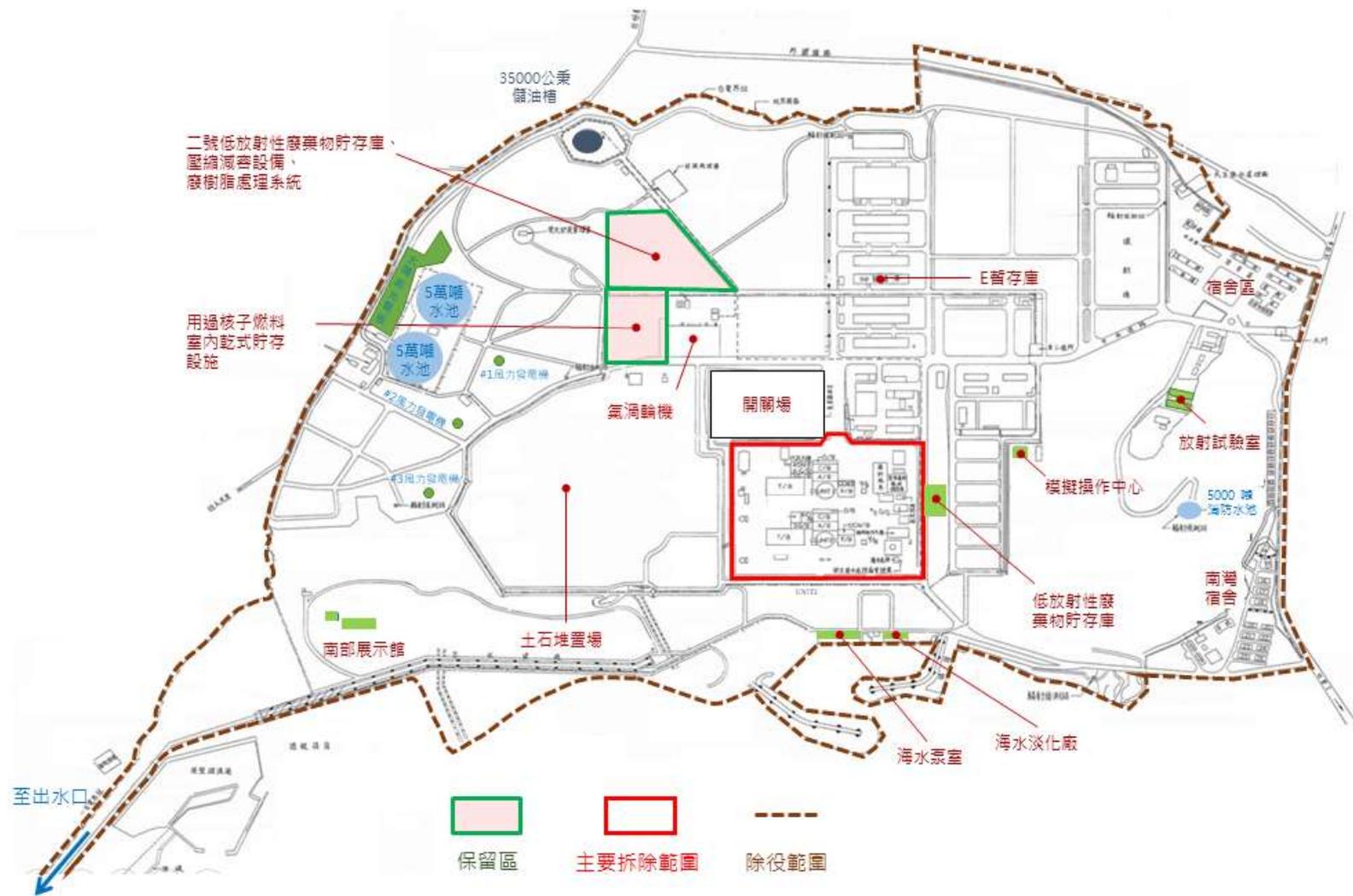


圖 17-1 核三廠除役範圍、主要拆除範圍和初步建議保留區示意圖

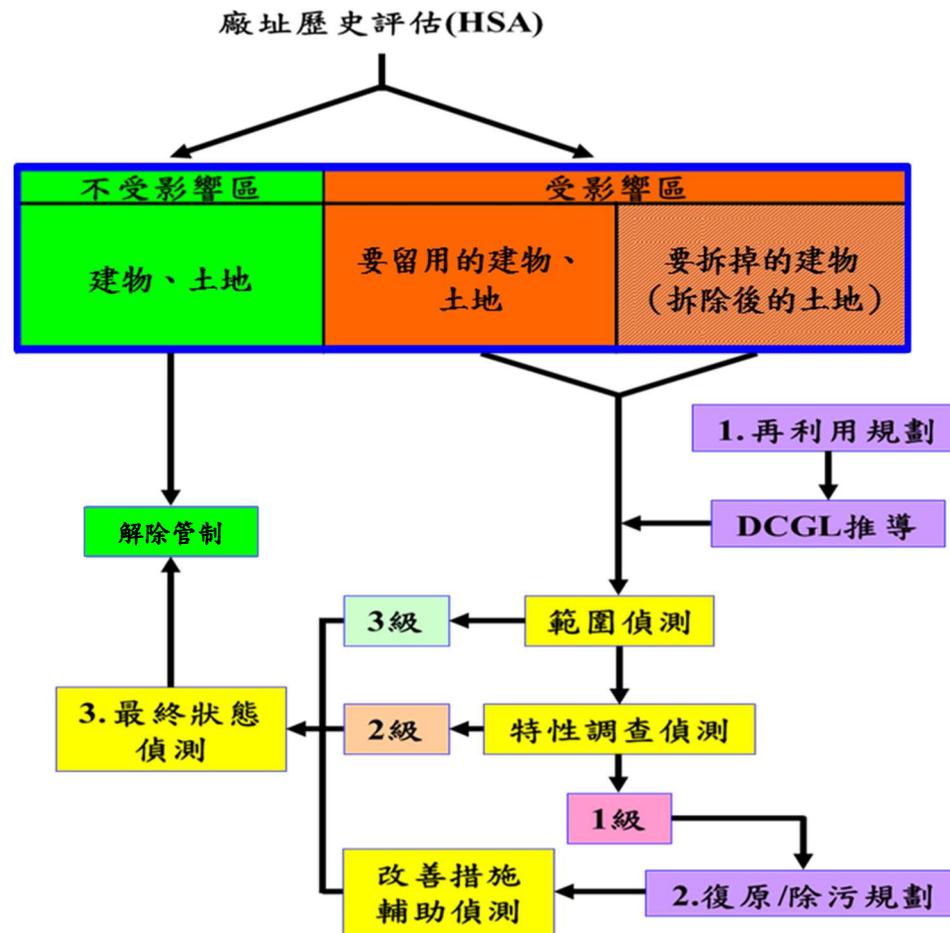


圖 17-2 廠址歷史評估、再利用規劃及各階段輻射狀態偵測之關聯性

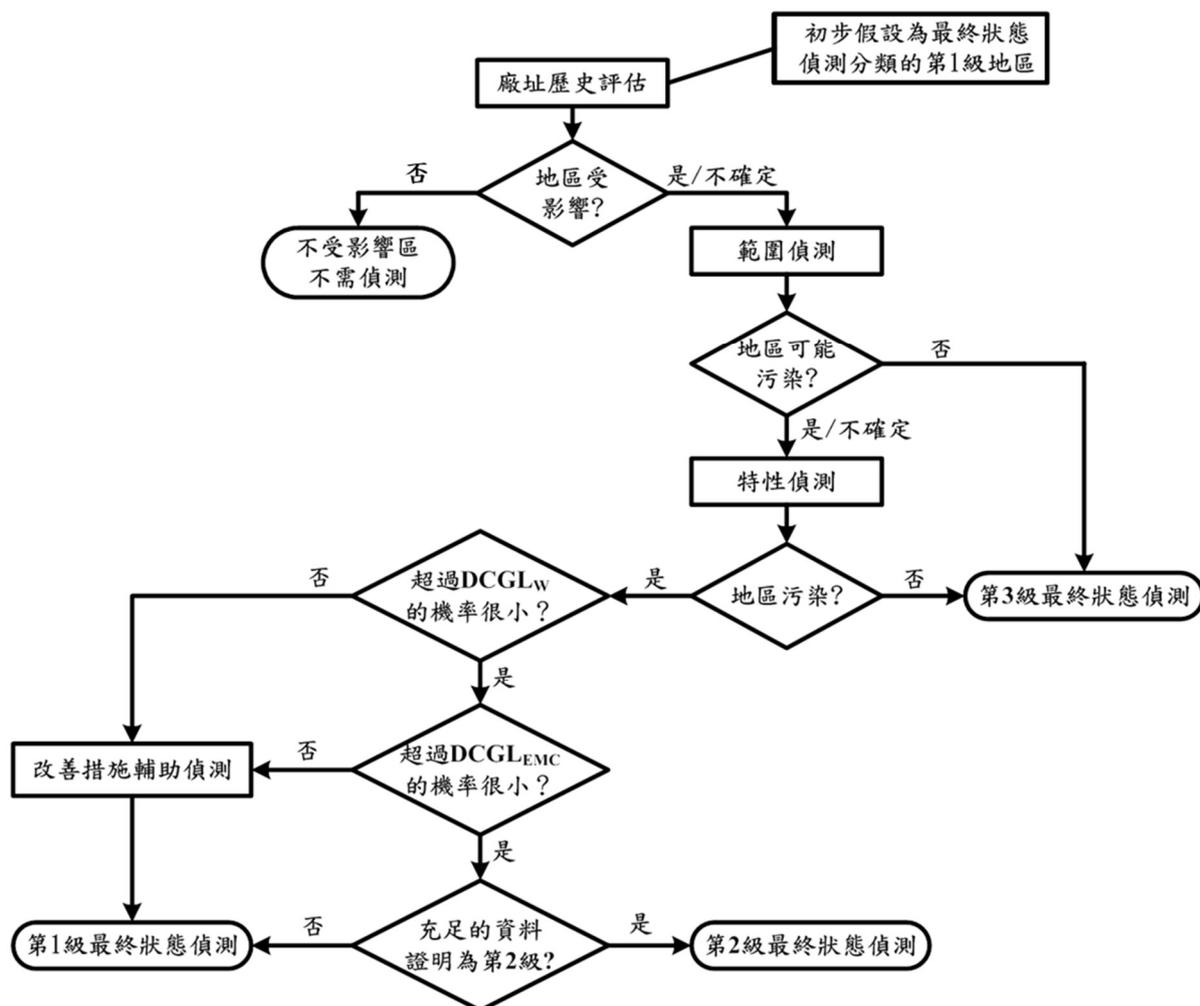


圖 17-3 建物與土地污染分級流程(MARSSIM)

註：MARSSIM 流程係初步假設所有地區皆為最終狀態分類的第 1 級。由廠址歷史調查程序劃分受影響區域；受影響地區依範圍偵測結果，將無污染地區歸類為最終狀態分類的第 3 級。污染地區依特性調查偵測結果，將污染高於  $DCGL_w$  值可能性低之地區分類為最終狀態分類的第 2 級；若污染高於  $DCGL_w$ 、 $DCGLEMC$  值可能性高或無充足資料證明為第 2 級之地區，應進行改善措施、輔助偵測並劃分為最終狀態分類的第 1 級。

表 17-1 核三廠除役後廠址內可能殘留的關注核種

核種類型(數量)	核種清單
易測核種(6)	Co-60、Sb-125、Cs-134、Cs-137、Eu-152、Eu-154
難測核種(16)	H-3、C-14、Fe-55、Ni-59、Ni-63、Sr-90、Nb-94、Tc-99、Ag-108m、I-129、Pu-238、Pu-239、Pu-240、Pu-241、Am-241、Cm-244

註：

1. 核種選定係依據本計畫第九章之關注核種清單，保留半化期大於2年之核種。
2. 氚(H-3)在環境樣品(地下水中)的分析作業，屬於較為易測的項目，惟若係土壤中的含氚量分析，前處理較為複雜，則一般歸類為難測核種。

表 17-2 核三廠除役後廠址環境輻射偵測之調查基準

偵檢區輻射等級	直接量測 / 樣品分析	掃 描
第 1 級	DCGL <sub>EMC</sub>	DCGL <sub>EMC</sub>
第 2 級	DCGL <sub>w</sub>	DCGL <sub>w</sub>
第 3 級	$(0.1\sim 0.25) \times DCGL_w$	MDC

註：DCGL<sub>w</sub>:用於廣域統計測試的 DGCL 值，w 表示廣域(wide area)。

DCGL<sub>EMC</sub>:用於與小範圍高活度(hot spot)區域測量結果比較的 DGCL 值。

MDC：最小可偵測濃度。

表 17-3 輻射偵檢策略

輻射等級	偵檢策略	
	掃 描	直接量測 / 取樣分析
第 1 級	100%	由統計檢定決定點數，並對高活度局部區域進行進一步的量測。
第 2 級	10~100%，並配合先前的偵測結果，判定需進行偵測的位置。	由統計檢定決定點數。
第 3 級	配合先前的偵測結果，判定需進行偵測的位置。	由統計檢定決定點數。

註：掃描比例係指在偵檢包執行之面積比例。

表 17-4 Sign Test 檢定對量測數據之結論

量測數據結果	結 論
所有的量測數據皆低於 $DCGL_w$	偵檢單元符合土地使用劑量標準。
量測數據的平均值大於 $DCGL_w$	偵檢單元不符合土地使用劑量標準。
有任一量測數據大於 $DCGL_w$ 但全部數據的平均值小於 $DCGL_w$	執行 $DCGL_w / DCGL_{EMC}$ Sign Test 檢定。

表 17-5 WRS 檢定對量測數據之結論

量測數據結果	結 論
偵檢單元的最大量測值與背景參考區的最小量測值間的差值低於 $DCGL_w$ 。	偵檢單元符合土地使用劑量標準。
偵檢單元的平均量測值與背景參考區的平均量測值之間的差值大於 $DCGL_w$ 。	偵檢單元不符合土地使用劑量標準。
偵檢單元的任一量測值與背景參考區的任一量測值間的差值大於 $DCGL_w$ ，但偵檢單元的平均量測值與背景參考區的平均量測值間的差值小於 $DCGL_w$ 。	執行 WRS 檢定。

附錄 17.A 第十七章廠房及土地再利用規劃之重要管制事項

項次	內 容	管制時程
17-1	廠址最終輻射偵測作業計畫提報主管機關審核。	132.08 (廠址最終狀態偵測階段前 1 年)