

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

核電廠除役研習計畫-美國多部會物質與設備輻射量測與評估訓練

頁數 8 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/02-2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

林義興/台灣電力公司/第二核能發電廠/ 10 等輻射防護課長/02-2498-5990

沈承緯/台灣電力公司/核能發電處/7 等協辦輻射防護專員/02-2366-7078

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：2018/08/24~2018/08/31

派赴國家/地區：美國橡樹嶺

報告日期：2019/10/21

關鍵詞：

MARSAME、初始評估(IA)、資料品質目標(DQO)、量測品質目標(MQO)、資料品質評估(DQA)。

內容摘要：(二百至三百字)

橡樹嶺聯合大學(Oak Ridge Associated Universities, ORAU)係由橡樹嶺國家實驗室和包括田納西州立大學之美國南部 14 所大學成員共同成立，為美國核能工業研究及相關應用之重要單位，長期以來開辦專業訓練計畫，提供輻射安全與保健物理方面的人才培訓，除保健物理應用、輻射安全、環境監測、加馬能譜核種分析等通用課程外，亦開辦許多核子設施除役相關課程，如本次派員參加多部會物質與設備輻射量測與評估手冊(Multi-Agency Radiation Survey and Assessment of Materials and Equipment Manual, MARSAME)之訓練課程。

目前本公司已展開核能電廠除役工作，由於設備、組件及建物拆除將衍生大量一般/低放射性廢棄物，其放行/外釋需透過嚴謹的輻射安全評估及偵測程序，以確認不造成外界環境及民眾之輻射影響，為整體有效規劃除役廢棄物離廠偵測與評估作業，故派員參訓，以因應未來執行相關工作所需之技術。本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

出國報告（出國類別：實習）

核電廠除役研習計畫-美國多部會物質與 設備輻射量測與評估訓練

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：林義興 10 等輻射防護課長

沈承緯 07 等協辦輻射防護專員

派赴國家：美國

出國期間：108 年 08 月 24 日至 08 月 31 日

報告日期：108 年 10 月 21 日

目 錄

	頁次
壹、出國實習目的	1
貳、出國及返國行程	1
參、實習課程內容簡述	2
肆、結論與心得	7
伍、建議事項	8

壹、 出國實習目的

台灣電力公司(以下簡稱本公司)曾於 107 年 6 月 11 日至 15 日及 107 年 12 月 01 日至 12 月 09 日，派員參加美國橡樹嶺聯合大學(Oak Ridge Associated Universities, ORAU)舉辦之 MARSSIM (Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual)訓練課程，學習最終輻射狀態偵檢之目的與其偵檢計畫設計概念，以及除役初期之範圍偵檢與輻射特性偵檢，所學習到的新知觀念及實務案例，均對本公司第一核能發電廠除役業務之推展貢獻良多。

前述 MARSSIM 訓練課程適用於除役廠址土地外釋之偵檢，而除役期間因設備、組件及建物拆除所衍生大量一般/低放射性廢棄物，其放行/外釋則可參考美國多部會物質與設備輻射量測與評估手冊(Multi-Agency Radiation Survey and Assessment of Materials and Equipment Manual, MARSAME)，建立嚴謹的輻射安全評估及偵測程序，以確認不造成外界環境及民眾之輻射影響。綜上所述，本公司核派 2 員，分別為核能二廠林義興課長及核能發電處沈承緯專員，參加 ORAU 舉辦之 MARSAME 訓練課程，以利本公司後續核能電廠除役工作之規劃及推動。

貳、 出國及返國行程

本次出國行程於 108 年 8 月 24 日至 108 年 8 月 31 日，含往返程共計 8 日，均於 ORAU 專業訓練中心(Professional Training Program, PTP)參與本次實習課程。詳細行程如下：

日期	行程	摘要
8/24-25	台北→田納西	往程
8/26	ORAU PTP 課堂講習	1. 課程介紹與目標 2. MARSSIM 概述與回顧 3. MARSAME 概述 4. 初始評估與初始偵檢 5. 行動基準
8/27	ORAU PTP 課堂講習	1. 量測品質目標 2. 偵檢儀器的偵測靈敏度 3. 量測不準確度

8/28	ORAU PTP 課堂講習	1. 偵檢方法與考量 2. 偵檢計畫與實施 3. 資料品質評估
8/29	ORAU PTP 課堂講習	1. 外釋與解除管制計畫 2. 課程總結
8/30-8/31	田納西→台北	返程

參、實習課程內容簡述

本次參加訓練之課程主要講述美國多部會物質與設備輻射量測與評估手冊(MARSAME)內容及其應用，該手冊係由具有放射性物質管制職權的聯邦部會所共同建立，包含有美國國防部(Department of Defense, DOD)、能源部(Department of Energy, DOE)、環保署(Environmental Protection Agency, EPA)及核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)等。MARSAME 是美國多部會輻射偵檢與廠址調查手冊(MARSSIM)的補充報告，其目的為提供物質與設備之處置偵檢的規劃、執行、評估、偵檢文件化等技術資訊，俾利資源有效再利用及正確處置廢棄物。MARSAME 之應用係藉由初始評估取得之資訊，將物質與設備進行分類，再經審慎評估而選定適當偵檢方式、投入最有效率的偵檢資源與實施分級偵測，續以統計方法來檢定並評估偵檢結果，此作業流程可優化整體物質與設備之處置決策。

一、MARSSIM 簡介

MARSSIM 對於潛在具有輻射污染場所、環境及廠址設施，提供一套標準化輻射偵檢作法，內容含偵檢規劃、實施及評估等，並訂定以劑量為基礎之廠址外釋標準，以證明該廠址符合最終狀態之輻射特性法規標準。MARSSIM 廠址土地外釋作業流程分為四大步驟，包含：廠址歷史評估(Historical Site Assessment, HSA)、範圍偵檢(Scoping Survey, SS)、特性偵檢(Characterization Survey, CS)及最終狀態偵檢(Final Status Survey, FSS)。

二、MARSAME 簡介

MARSAME 區分為 8 章節；第 1 章為簡介與應用範圍，第 2 章為初始評估(Initial Assessment, IA)，內容有前哨偵測(Sentinel Measurement)、初始偵檢(Preliminary Survey)、物質與設備(Materials and Equipment, M&E)的描述、處

置方案及初始評估結果文件化等作業；第 3 章為決策原則及處置偵檢，內容有放射性核種選定、行動基準(Action Level, AL)、重要參數、替代行動、偵檢單元、發展決策原則、量測方法輸入項目、確認參考物質及已有的偵檢設計之評估；第 4 章為規劃及偵檢設計的完成，內容有虛無假設(Null Hypothesis)、決策誤判率、決定偵檢量能投入程度、量測形式、數量及位置與偵檢設計文件；第 5 章為執程序，內容有作業健康、安全評估與管制及 M&E 的分類、評估不確定度、可偵檢性與量測之技術比較、儀器功能與偵檢數據蒐集與紀錄；第 6 章為評估與決策，內容包括審查既有數據、數據與 UBGR(Upper Bound of the Gray Region)的比較、計算信心水平、統計檢定方法、再依偵檢結果執行處置決策、建立決策資料之文件；第 7 章為統計學應用技術，內容含基礎統計概念、假設檢定、量測品質目標(Measurement Quality Objectives, MQOs)、不確定度、MDCs(Measurement Detection Capability)與 MQCs(Measurement Quantification Capability)；第 8 章為說明範例，內容有物質的處置偵檢、設備的處置偵檢等。以下將針對依 MARSAME 實施物質與設備量測與評估之主要程序進行介紹。

(一) 初始評估(IA)

指蒐集現有的 M&E 的資訊並進行研究分析，與 MARSSIM 的廠址歷史評估(HAS)相似。初始評估主要的活動如下：

1. M&E 分類(Categorizing)為受影響或非受影響。
2. 設計及執行初始偵測(Preliminary Survey)。
3. 敘述 M&E 之物理及輻射特徵。
4. 針對受影響 M&E 選擇合適處置方式及其行動選項。
5. 文件書面化。

首先須對於 M&E 執行分類(Categorizing)作業，目的為分類 M&E 於廠址中是否屬於受影響(impacted)或非受影響(non-impacted)，其步驟包含重新檢視運轉資料及紀錄、鑑別具有的放射性核種、化學及物理性質、與 M&E 相關之異常狀況發生、具追查意義或尋找任何沒有存在於記錄中的事件，綜合評估後判斷是否可以執行分類作業，如所獲資訊不足以正確分類，就須增加合適的前哨偵測(Sentinel Measurement)來補足。

M&E 分類為受影響時，須接續對該物件評估，評估目前資訊是否可以選擇合適處置方式並設計處置偵檢計畫，若資訊不足時，則先鑑別出資訊不足的地方，對這些地方執行初始偵測，以獲得有關 M&E 的物理及輻射特徵，而可以去選擇處置方法及設計處置偵測計畫，初始偵測作業包含範圍掃描(Scoping)與特性調查(Characterization)；範圍掃描目的為增加 IA 資訊、收集 M&E 樣本數、量測背景範圍、給予特性偵測資訊與支持初始分級；特性調查目的為評估 M&E 並分級(Classification)、評估 M&E 輻射污染平均值、範圍、標準差、評估輻射污染源間之比例因素。

執行完初始偵測獲得的資訊，可以來撰寫 M&E 之物理特性及輻射特性，建議物理特徵撰寫方向如下：

- 1.尺寸(Dimensions)：體積外觀、總面積。
- 2.複雜性(Complexity)：組件數量、類型、化學、危害。
- 3.可接觸度(Accessibility)：巨大物件、多孔隙、接縫、破洞。
- 4.固有價值(Inherent value)：替換費用、回收、復原、處置費用、歷史價值。

建議輻射特徵撰寫方向如下：

- 1.核種(Radionuclides)：鑑別核種、核種之放射線發射能量。
- 2.活度(Activity)：平均濃度、範圍、比例因數、儀器、單位、不確定度、核種。
- 3.分布(Distribution)：均勻(如氣態)、聚集(如焊道處)。
- 4.位置(Location)：表面/體積、滲透/中子活化、固著性/附著性污染。

(二) 行動基準(AL)

選擇行動基準(AL)在 MARSAME 決策過程中是重要，必須了解行動基準與處置標準之間存在關係，例如：行動基準可使用個別放射性核種及混合放射性核種(值一法則)、各系統存在核種選擇來評估推算和替代放射性核種的比例、選擇行動基準應考量因素、核種考量或放射線種類、表面(固著性及附著性)、體積污染、區域或體積殘餘活度平均值、假設可能處置方式(廢棄物、重複使用、回收、混合等)。在美國，常引用下列法規以訂定行動基準。

- 1.NRC Regulatory Guide 1.86。
- 2.10 CFR 835 Appendix D。
- 3.DOE Order 458.1。
- 4.10 CFR 20.14.02 – 20.1406。
- 5.Dose –or risk 基礎(ANSI N13.12-199)。

(三) 量測品質目標(MQO)

量測品質目標是滿足測量目標所需的測量方法。MARSAME 中描述了六個 MQOs 考量因素：

- 1.Range：預期可能核種範圍及可能的濃度範圍。
- 2.Specificity：量測方法是否有能力量測現有介面的核種。
- 3.Ruggedness：量測區域是否為不利、危害或變化劇烈的環境，以及實驗室量測可能要考量化學與物理特性(ph 值、試劑)。
- 4.Measurement Method Uncertainty：預測量測特定值時之量測值不準度(特別是行動基準)、統計決策。
- 5.Detection Capability (MDC)：適合於使用一個量測值作為決策是否有污染時，而 MDC 必定不能超過行動基準。
- 6.Quantification Capability (MQC)：適合於使用平均多個偵測結果來比較是否符合處置條件，而 MQC 必定不能超過行動基準。

(四) 偵檢儀器的偵測靈敏度

放射性衰變為機率性發生，故同一個樣品經重複量測後，測值將呈現常態分佈，但實務作業上通常只會計測一次並做為決策之依據。除樣品測值浮動外，背景值亦為浮動變化，故偵測結果必須藉助統計方法檢視，將錯誤決策之機率降低至可接受範圍。

儀器之偵測能力計測時間、背景測值及指定之誤判率(Type I error 及 Type II error)有關，即所謂 Minimum Detectable Value，其意義為在一特定的信心水平下，能被正確地辨識為具有放射性的樣品平均淨計數，再經整體考量計測系統參數，如樣品計測時間、偵檢器特性、射源特性後，可換算為 Minimum Detectable Activity(MDA)或 Minimum Detectable Concentration(MDC)，即以活度或比活度單位來表示儀器偵測放射性之

能力。

(五) 量測不確定度

偵測的不確定度主要來自下列三大因素：

- 1.物理因素：包含背景值變化、外在環境、校正射源的不確定度、以及量測統計因素。
- 2.技術因素：例如儀器電壓飄移、數位/類比訊號轉換、偵檢頭/計數器匹配等造成量測差異之狀況。
- 3.人為因素：例如偵測掃描的速度、射源/偵檢器距離，甚至是偵檢人員的耐心、判斷、預期心理等，均有可能造成量測之不確定性。

不確定度之評估，可透過反覆偵測進行統計評估，即所謂 **Type A method**，亦可藉由科學與專業判斷，檢視過往偵測數據、儀器製造規格、手冊數值、校正報告的評估，進行量測不確定度之評估，此方式稱為 **Type B method**。

(六) 偵檢方法與考量

在 **MARSAME** 中提供了三種量測設計方法：**Scan-only** 偵檢、**In-situ** 偵檢、以及 **MARSSIM-type** 偵檢，而偵檢方案之選擇，取決於成本、時間、工安衛考量、要求、目標等等。

Scan-only 偵檢主要以手持式輻射偵測儀器對 **M&E** 之表面進行掃描偵測，而掃描之面積依 **M&E** 的分級而變，對 **Class 1**(物質與設備的放射性活度大於行動基準的可能性高)者，應進行全面積掃描；**Class 2**(物質與設備的放射性活度大於行動基準的可能性低)者，則為 10~100%面積，實際掃描面積應依 **M&E** 的放射性測值與 **AL** 之差異幅度決定，意即遠低於 **AL** 者掃描面積小，接近 **AL** 者則掃描面積大，並可採隨機偵測；**Class 3**(物質與設備的放射性活度不大於背景或其機率微小，沒有足夠證據證明其為非受影響)者，掃描面積與 **Class 2** 相同，但無須採隨機偵測。

In-situ 偵檢方式繁多，國內常見的箱型偵檢器、車輛偵檢器、能譜分析法均屬此範疇。

MARSSIM-type 偵檢則通常用於大型、複雜，而難以實施前述兩種偵檢設計之 **M&E**，此方法係繼承廠址土地外釋偵測之精神，同樣對 **M&E**

進行分級後，以統計方法決定取樣或偵測點數量，偵測時除可參考傳統 MARSSIM，以隨機起點繪製三角方格決定量測位置外，亦可將個別物件散開為平面、於物件上畫線標定，或撒網於小物件等方式以決定量測位置。

(七) 資料品質評估(Data Quality Assessment, DQA)

此階段主要為檢視量測結果且正確解讀的程序，在量測結果全部低/高於 AL 時，相當容易執行（一定通過或一定不通過），惟若僅為部分測值高於 AL 時，則應使用統計檢定，確認符合資料品質目標(Data Quality Objectives, DQOs)與 MQO，常用統計檢定方法及適用時機如下：

- 1.WRS(Wilcoxon Rank Sum) Test，適用於污染的核種存在於物料本身的背景。
- 2.Sign Test，適用於污染的核種不存在於物料本身的背景；或物料背景污染核種遠低於 AL。

資料品質評估主要可透過 5 大步驟來執行：

- 1.審查 DQOs 及偵檢設計。
- 2.審查初步資料：QA/QC 報告、圖示化偵測結果、統計數據(平均、標準差)。
- 3.選擇統計檢定方法。
- 4.驗證假設。
- 5.藉由數據做出決策。

肆、 結論與心得

感謝公司提供前往美國田納西州橡樹嶺聯合大學(ORAU)專業訓練中心(PTP)學習物質與設備輻射量測相關知識的機會。

本次實習內容主要為美國多部會物質與設備輻射量測與評估手冊(MARSAME)之使用，包含初始評估(IA)、量測品質目標(MQO)、儀器偵測能力評估、量測不確定度評估、偵檢方法設計及資料品質評估(DQA)之介紹，課程亦包含偵檢計畫設計與偵檢方案實施之案例解說，課程內容相當豐富，獲益良多；此外，本次有許多來自不同國家（美國、韓國、瑞典、丹麥）及不同核能相關

設施的學員參與，課堂間彼此討論並分享相關工作經驗，讓我們對國際同業所採行之營運策略及偵測方法有初步認識，達到增廣見聞之功效。

有了本次實習經驗，更具體了解物質與設備輻射量測作業各項環節及資料評估的實施方法，期望本次實習所學能進一步協助核能電廠除役廢棄物放行/外釋偵檢之規劃與執行。

伍、 建議事項

- 一、就國外經驗而言，核能電廠除役拆除作業產生之廢棄物有許多可經適當偵檢後放行、外釋，達到資源回收之效，然而廢棄物之除污、處理及偵測均有一定成本，建議廢棄物之處置，應權衡貯存及放行/外釋之成本。
- 二、就偵測實務而言，建議針對核能電廠拆除作業期間所產生大量廢棄物，規劃足夠之物料待測暫存場所、適當之偵檢場所，以及經 TAF(Taiwan Accreditation Foundation)認證之偵檢方案，以利執行具公信力且周詳之放行/外釋偵檢。