

運用射源結合輻射偵檢(測)訓練之研究

作者簡介



作者蘇冠宇中校，畢業於國防大學理工學院應用化學系 94 年班、中原大學化學碩士，現就讀國防大學理工學院化材所在職博士班，領有核安會輻射防護師、輻射安全證書等證照，歷任中隊長、輻射檢測組長、緊急防護組長、司令部環保官，現任化生放核訓練中心化學課程組主任教官。

提要

- 一、借鏡烏俄戰爭的發展進程，在兩岸關係嚴峻之現況下，我國亦無法排除共軍對我核電廠進行破壞，以造成電力短缺之封鎖策略，亦無法排除誤擊核設施之可能；另中共核武器發展技術持續提昇，已有與美國達核均勢之實力，在仍具備放核威脅的環境，如何運用射源結合輻射偵檢(測)訓練，提升我軍能力為本篇之主要課題。
- 二、藉由整合核子事故緊急應變演習與輻射課程教學經驗，並結合美方放核恐怖攻擊處置訓練、空中輻射偵測訓練所學回饋，恪遵司令鍾上將「實戰化訓練」之工作指導，結合兵科專業發展符合戰場景況之訓練規劃。
- 三、依自身經歷與多年觀察，規劃核爆觀測與落塵偵測、人員消除作業初(複)偵、放射性射源搜尋、恐怖攻擊事件應處、未知射源偵測、複雜核種分析等 6 種科目之輻射偵檢(測)訓練課程，並運用輻射源，搭配相關安全管控措施，期許偵檢作業朝向更符合戰場景況的訓練環境，以提升官兵「練力、練技、練膽、練心、練指揮」的實戰化訓練。
- 四、本篇所述為粗略的訓練規劃，仍有待精進之處，希冀達到提供「建立基本訓練模式」與「拋磚引玉」效果，能引發、激盪出更多寶貴建議與構想，以強化訓練成效，肆應各種放核任務，確保部隊戰力保存。

關鍵字：放核、核子、輻射、放射性、射源、偵檢、偵測

前言

俄羅斯入侵烏克蘭爆發「俄烏戰爭」迄今已逾 2 年多，過程中於 2022

年初曾發生俄軍佔領歐洲最大核電廠札波羅熱電廠(Zaporizhzhia Nuclear Power Plant, ZNPP)，報導宣稱俄羅斯士兵於核電廠反應爐周邊安裝「疑似爆炸裝置」，專家認為如發生上述爆炸而破壞反應爐或造成冷卻機組損壞，都可能導致發生類似於日本福島核電廠事故等級之核子事故。

在兩岸關係嚴峻之現況下，我國亦無法排除共軍對我核電廠進行破壞，以造成電力短缺之封鎖策略，亦無法排除誤擊核設施之可能，美備役准將 John Brown 於 2023 年 1 月〈美國陸軍月刊〉中指出儘管《禁止化學武器公約》已超過 30 年，仍存在有些國家陽奉陰違使用「大規模毀滅武器(WMD)」之隱憂。

國際間充斥著各式各樣的放核威脅，如核武威脅、核電安全、恐怖行動、放核事故，發生任何一種都會對國家造成重大的危害，近年來國軍面對多元化的放核安全威脅，置重點於支援救災任務上；反觀在軍事作戰上，雖然現今國際情勢各國使用放核武器的機率很低，然隨著中共核子武器發展技術的提昇，若與美國達成核均勢，便意味著中共更有能力以核武威脅各國，一旦發生核武戰爭，將會造成無法承受的重大傷害。

本篇希望整合核子事故緊急應變演習與輻射課程教學之經驗，並藉由參加美方放核恐怖攻擊處置訓練、空中輻射偵測訓練所學回饋，探討本軍運用輻射源實施輻射偵檢(測)訓練之研究，恪遵司令鍾上將「實戰化訓練」之工作指導，結合兵科專業發展符合戰場景況之訓練規劃。

輻射偵檢（測）方式簡介

輻射偵檢(測)的方式，筆者區分為直接偵檢、間接偵檢及核種分析等三類，分述如下：

一、直接偵檢

不必借助於其他輔助設施或器材，直接利用偵檢器偵檢輻射之強度，以劑量率或累積劑量的模式顯示，以參考作為輻射風險之參考與依據。

二、間接偵檢

係藉助各種取樣方法與不同的化學前處理程序(尤其是非密封放射性物質)處理後所得的樣品，選擇對應之計測系統計測其活度，作為評估對環境汙染程度或攝入人體所造成的體內輻射劑量

三、核種分析

操作可攜式純鍺或碘化鈉等核種分析儀器，利用其具備偵測快速、高解析度、能譜分析等特點，運用於加馬(γ)核種分析與判定，於短時間內獲得初步現場核種種類判定與活度估算，以作為後續處理之重要參考。

美國輻射偵測訓練探討

一、疑似放核恐怖攻擊偵檢(測)作業

輻射恐怖攻擊是主動的，可採取的手段繁多，要精準預測有其困難度，最有可能施用方式包含小當量核子武器、土製核武、輻射髒彈、隱藏射源、核設施破壞(如核電廠、研究用核反應器、核廢料場等)、放射性物質使用場所破壞等。除核子武器外，對民眾及社會影響較大的應屬輻射髒彈，輻射髒彈是「放射性物質散佈裝置(radiological dispersal device, RDD)」的一種形式，它利用爆炸裝置結合放射性物質，除了爆炸威力可造成破壞外，所挾帶的放射性物質，可被爆炸所產生之能量，炸碎成極為細小的顆粒或懸浮微粒，並隨空氣流動和擴散作用，使放射性微粒散佈出去，造成大面積的輻射污染。

美國有感於全球恐怖攻擊威脅已無國界問題，希望透過全球防堵等方式，限制恐怖攻擊事件的肇生，以下就美國能源部曾派遣美方專家學者至我國桃園機場辦理機場防恐應變處置訓練實作訓練部分實施介紹：本案例為模擬機場地勤人員獲報航空貨運盤櫃疑似內有輻射髒彈，機場通報應變人員至現場實施協處，並於現場初步排除不具立即爆炸風險後，續移交化生放核專責編組執行。

圖 1 實施表面輻射擦拭採樣作業



資料來源：作者自行拍攝。

圖 2 實施初步檢測判定污染程度



資料來源：作者自行拍攝。

圖 3 選用長桿式輻射偵測器實施偵測



資料來源：作者自行拍攝。

圖 4 拉長距離實施偵測降低人員劑量



資料來源：作者自行拍攝。

美方示範景況與實作程序說明：

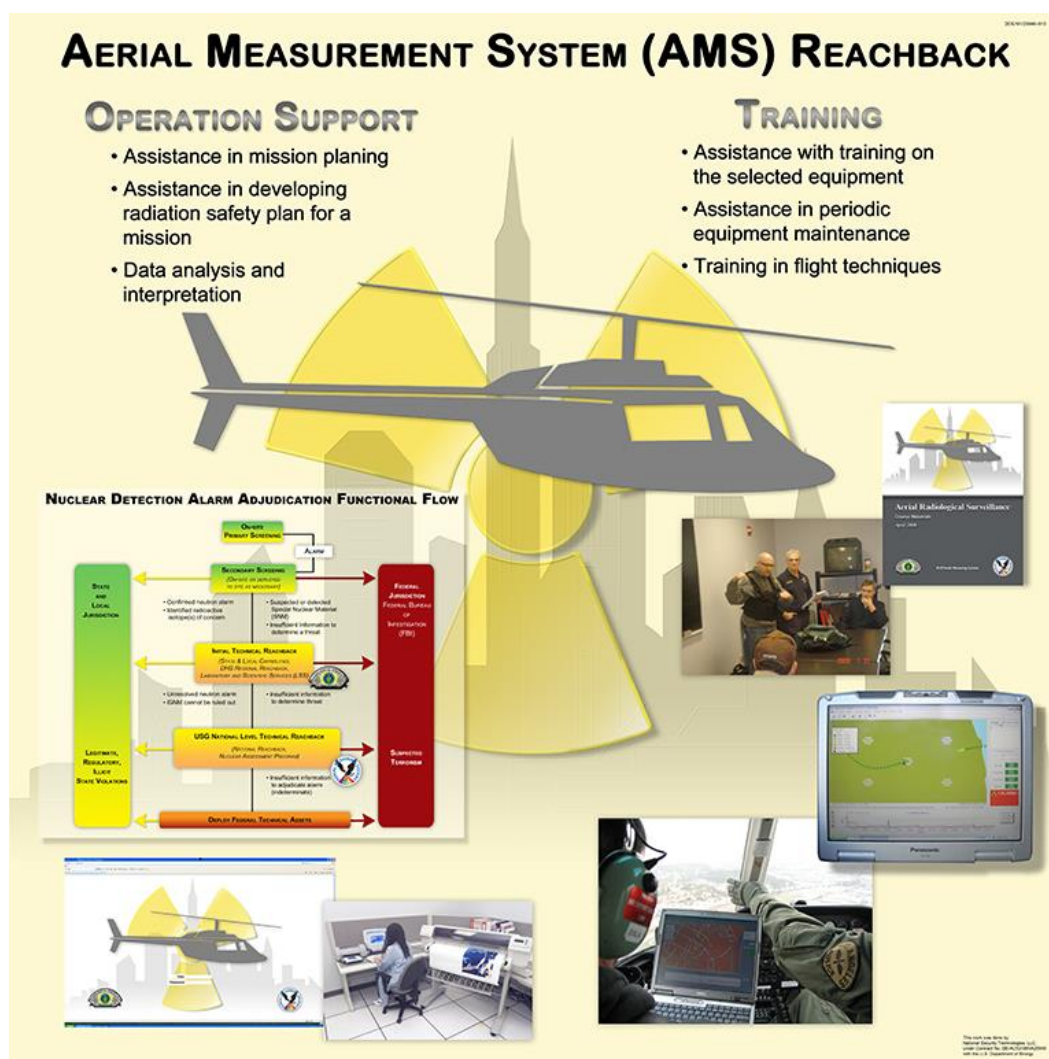
- (一)異常回報：機場人員回報「航空貨運盤櫃(Unit load device, ULD，以下簡稱貨盤)」測得異常輻射劑量反應。
- (二)管制區劃分：通報專責編組人員對貨盤實施輻射偵測作業(爆裂物偵測作業本篇不納入討論)，到場後先行完成汙染風險區劃分與隔離，管制非作業人員不得進入，確維周邊人員安全。
- (三)核種分析：專責人員完成自身防護裝具穿戴後(上圖美方人員為求方便並未完成個人防護，僅穿戴防護手套示意)，接續採用核種分析儀，初步獲得核種種類與分布情形，以作為風險高低之判斷(判定是否為一般產業用射源，或為疑似製作成輻射髒彈之射源)(如圖 1)。
- (四)表面輻射偵測：接續使用擦拭紙於貨盤外部實施輻射擦拭採樣作業，再使用表面輻射偵測器對完成採樣之樣品實施偵測作業，藉由偵測結果初步判斷貨盤表面是否遭受汙染(如圖 2)，此階段如確認汙染值偏高，如考量仍具輻射髒彈爆炸之風險，不考量實施除汙作業，僅作為加強人員防護之參考)。
- (五)開啟貨盤作業：須至少 2 員專業人員搭配實施，1 員負責開啟貨盤外蓋，1 員負責使用長桿式輻射偵測器實施偵測(如圖 3)；開啟貨盤外蓋過程中，須採緩慢開啟方式，配合長桿式偵檢器靠近判斷輻射劑量高低，在確認可接受劑量強度下逐步開啟整個外蓋。

(六)搜尋輻射源：待外蓋打開後，透過照明及偵檢器對射源實施搜尋作業，找出輻射源後，偵測其表面輻射劑量與核種分析，再次評估其風險，再行規劃射源移除方式與步驟。

二、空中輻射偵測訓練

美國能源部國家核子安全局 (DOE/NNSA) 於日本發生福島核電廠事故後，便將發展多年的空中輻射偵測技術(Aerial Measuring System, AMS)¹推廣至各國，其用途在因應發生核子反應器意外或放射性物質散布事故的緊急情況時，可以執行快速的輻射污染偵測與監測調查，在飛行時偵(監)測空氣中的放射性物質強度，以及調查地面上的輻射污染程度。

圖 5 美國空中輻射偵測技術簡介



資料來源：美國能源部國家核子安全局提供。

1. Aerial Measuring System (AMS)簡報，P18，DOE/NNSA RSL。

本軍化學兵部隊兼負核子事故緊急應變輻射偵測任務，核能安全委員會(原行政院原子能委員會)於 102 年接收美方 2 套「進步型輻射能譜量測電腦系統-空中偵測系統(Spectral Advanced Radiological Computer System Aerial,簡稱 SPARCS-A)」，用以快速執行大地區核子事故輻射污染範圍偵測與標定任務，為有效發揮裝備效能，派遣本軍與核能研究所等專技人員赴美受訓，以強化本軍空中輻射偵測技術。

該系統為美方目前使用之高階輻射偵測系統，搭配高靈敏度偵檢器及飛行器，執行美國國土大範圍輻射污染偵測及調查工作，其系統組成主要有兩部分，一部分是飛行載具，另一部分是特殊偵檢系統裝備。配合任務需求，運用不同的飛行載具擔任裝載平台，配備偵測所需偵檢器組成。以美國為例，空中偵測就是採用「SPARCS-A 系統」進行偵測、資料擷取、收集以及儲存，並分析飛行間調查與記錄的放射性監測資訊。

實作訓練係模擬對遭敵使用核子武器爆炸後之場址實施空中輻射偵測訓練，搭乘飛行載具於高輻射劑量區域執行快速偵測，獲得所需之疏散區域或掩蔽區域輻射劑量率，提供指揮官事故地點周圍之輻射曝露率與放射性物質沉降情形，並將結果以地圖或影像呈現。其訓練場地為位於內華達國家安全區(Nevada National Security Site，簡稱 NNSS)，搭乘飛行載具於內利司空軍射擊靶場(Nellis Air Force Gunnery and Bombing Range)實施空中輻射偵測訓練，其所在地原為核子試爆場，於 1950 年劃分 680 平方英哩區域作為試爆場，其先後進行了 100 次大氣層試爆及 828 次地底試爆，殘存一定含量之放射性物質與輻射劑量，現今此地作為核子、放射性事故、訓練與緊急應變使用，提供美國防部、警消部門作為訓練場址，另也與大學、工業界及其他聯邦機關合作舉辦研究與訓練活動。

2. 曝露係指人體受游離輻射照射或接觸、攝入放射性物質之過程。

圖 6 空中輻射偵測訓練機艙內實況



圖 7 空中輻射偵測



資料來源：美國能源部國家核子安全局 (DOE/NNSA) 拍攝。

國軍現行輻射偵測儀器介紹

一、一般部隊

一般部隊所配發之輻射偵測儀器，僅偵消任務固定班配發 AN/VDR-2 野戰輻射偵測器，該裝備為一輕便、數字顯示，具測量輻射劑量率與累積劑量之輻射偵測器，可安裝於車輛及旋翼機上，實施大地區、空中或多點之偵測作業³。

表 1 AN/VDR-2 野戰輻射偵測器規格

裝備名稱	AN/VDR-2 野戰輻射偵測器
照片	

3. 〈化學兵通用裝備操作手冊〉，110 年 8 月 9 日，頁 3-113。

偵檢頭種類	充氣式蓋格計數器
偵測射線種類	β 、 γ 射線
偵測範圍	β : 0.1 μ Gy/hr ~ 5 c Gy/hr γ : 0.1 μ Gy/hr ~ 10 Gy/hr
準確度	10%
能量範圍	60KeV ~ 3.0MeV
反應時間	大於 1 c Gy/hr 需 2 秒 小於 1 c Gy/hr 需 5 秒
偵測模式	劑量率 : 0.1 μ Gy/hr ~ 10 Gy/hr 累積劑量 : 10Gy

資料來源：化學兵通用裝備操作手冊。

二、化學兵部隊

化學兵部隊所配發之輻射偵測儀器，主要區分表面輻射偵測器、個人劑量警報器、長桿型輻射偵測器、空浮採樣器、汙染計數器、核種分析儀等 6 類，配合各類型放核景況，選擇適當之儀器相互搭配使用，筆者初略分類其用途如后：

- (一)表面輻射偵測器：用於射源搜尋、人員、車輛等初(複)偵作業。
- (二)個人劑量警報器：作業人員環境輻射監測、人員累積劑量計測。
- (三)長桿型輻射偵測器：射源搜索、未知射源偵測、高強度射源偵測、地形障礙偵測。
- (四)空浮採樣器：空氣中放射性落塵蒐集與採樣。
- (五)汙染計數器：放射性粒子偵測(搭配採樣作業後實施計測，較表面輻射偵測器精準)。
- (六)核種分析儀：放射性核種簡易分析、活度計測。

表 2 化學兵部隊輻射偵測儀器分類比較表

分類	儀器名稱	偵檢頭 種類	偵測射線 種類
表面輻射 污染偵測器	COMO170 表面輻射污染 偵測器 	閃爍	α 、 β 粒子 γ 射線
	LB-124 表面輻射污染偵測器 	閃爍	α 、 β 粒子 γ 射線
	LB-123 表面輻射污染偵測器 	比例	β 粒子 γ 射線
個人劑量警 報器(EPD)	DoseRAE 2 個人劑量警報器 	蓋格	γ 射線

	PRD 個人劑量警報器 	閃爍	γ 射線
	POLIMASTER 個人劑量警報器 	蓋格	γ 射線
長桿型輻射偵測器	FH40TG 長桿型輻射偵測器 	碘化鈉	γ 射線
輻射空浮採樣器	輻射空浮採樣器 	無	α 、 β 粒子 (採樣)

手提式汙染計數器	手提式汙染計數器 	閃爍	α 、 β 粒子
手提式快速核種偵檢分析儀	ATOMTEX AT-6102 	碘化鈉蓋格	γ 射線
	FLIR identiFINDER 2 	碘化鈉蓋格	γ 射線

資料來源：陸軍化學兵專用裝備操作手冊、作者自行彙整。

上表所列的儀器為目前國軍化學兵部隊已配發使用的（部分）儀器，化學兵現有的輻射偵測儀器，具有偵測阿法（ α ）、貝他（ β ）粒子及加馬（ γ ）射線的能力，並對游離輻射實施劑量率、累積劑量及汙染計數率量

測，並對產生游離輻射的來源作簡易核種分析及判定。

訓練用輻射源介紹

一、射源種類

(一) α 衰變射源

放射性射源經衰變產生較大質量且帶正電荷的粒子流，通常以希臘字母 α 表示， α 粒子是由二個質子和二個中子所組成，也就是氦的原子核。既然含有二個質子， α 粒子所帶的正電荷是質子的兩倍。如不論正負電， α 粒子所帶的電荷也是電子的兩倍。 α 的游離能力很大，但是它的貫穿能力卻很小。在空氣中一般只能走 3 至 8 公分的路程便被吸收了。

(二) β 衰變射源

放射性射源經由衰變產生電子流或正電子流，通稱為 β 粒子，常用希臘字母 β 表示。放出電子時標為 β^- ；放出正電子(或簡稱為正子)則標為 β^+ 。 β 的游離能力不大，但是它的貫穿能力卻能在空氣中穿過幾公尺至幾十公尺後才被吸收。

(三) γ 衰變射源

放射性射源經衰變產生 γ 射線，該射線穿透力很強，找不到能完全將其阻擋的材料，以密度較高的物質(如鉛、鐵、混凝土等)實施阻隔，才能產生較佳屏蔽效果。

二、射源用途

我們可以從放射性物質的應用，進一步了解可能來源，表 3 為各種領域應用(包含醫學、工業及科學研究等)的放射性物質種類，如應用在醫學可治療癌症和診斷、在能源工業可發電、在土木工程可作流動計量器檢測、土壤水分和材料測試及建築物結構檢測、在石油業可勘探石油並記錄過程、在航空工業可作為油量計並檢查焊接點及檢測飛機架構是否完整、在家庭方面可做煙霧警報器，由此可見在我們的生活週遭，從醫院的放射線治療部門到食品加工廠的消毒殺菌設施充滿了對放射性物質應用，外流或遭竊的狀況也極可能發生。至於製造核彈原料濃縮鈾與鈾，由於來源稀少、監控嚴密，且相關技術難度極高，取得的機會反而不大。

表 3 常見放射性物質的應用

醫學	診斷	● 藥物追蹤 (^{99m}Tc 鎝、^{131}I 碘) ● 掃描組織凝塊 (^{67}Ga 鎵) ● X 光掃描 (^{137}Cs 銫、^{60}Co 鈷)
	治療	● 加馬刀及消毒 (^{137}Cs 銫、^{60}Co 鈷) ● 注射針、器官移植 (^{192}Ir 銥、^{226}Ra 鐳) ● 脈搏器 (^{238}Pu 鈾)
工業方面	能源 軍事	● 核能發電 (^{235}U 鈾、^{239}Pu 鈾) ● 輻射發電機 (^{90}Sr 銣) ● 武器及偵檢器 (^{239}Pu 鈾、^3H 氫、^{235}U 鈾)
	檢測	● X 光攝影及確認建築結構 (^{60}Co 鈷、^{192}Ir 銥) ● 量測密度及溼度 (^{241}Am 鋂、^{137}Cs 銫) ● 流量、水平面等相關之量測 (^{241}Am 鋂、^{137}Cs 銫、^{85}Kr 氬)
	食物 農業	● 食物滅菌 (^{60}Co 鈷) ● 除蟲 (^{137}Cs 銫、^{60}Co 鈷) ● 農作物基因改造 (^{137}Cs 銫、^{60}Co 鈷)
	家庭	● 煙霧警報器 (^{241}Am 鋂) ● 儀表冷光 (^3H 氫) ● 充氣帳篷的燈源 (^{232}Th 釷)
科學研究		● 高能量物理學 (^{252}Cf 鈷、^{235}U 鈾) ● 生物動力學 (^{239}Pu 鈾、^{90}Sr 銣) ● 有機合成及蛋白質檢測 (^{14}C 碳、^{15}N 氮、^{32}P 磷)

資料來源：作者自行彙整。

三、射源運用規劃

在《游離輻射防護法》中，使用(存管)不同活度之射源應申請相對應的放射性物質證照，依放射性射源活度，由高至低區分為許可類、登記備查類、豁免管制量等 3 類，在訓練實需、射源存管、人員操作風險等綜合評估下，本篇規劃運用登記證與豁免管制量射源實施偵檢(測)訓練，並以陸

軍化生放核訓練中心現行存管之射源實施規劃，射源種類、活度及運用規劃如表 4：

表 4 常見放射性物質的應用

射源種類	射源活度	衰變種類	射源用途	訓練場景
Eu-152	1 μ Ci	α 粒子	核反應產生	人員消除作業初（複）偵 恐怖攻擊事件應處 複雜核種分析
Na-22	1 μ Ci	β 粒子	醫療	人員消除作業初（複）偵 恐怖攻擊事件應處 複雜核種分析
Co-60	1 μ Ci	γ 射線	殺蟲、醫療、工業	核爆觀測與落塵偵測 放射性射源搜尋 恐怖攻擊事件應處 未知射源偵測 複雜核種分析
Cs-137	1 μ Ci	γ 射線	醫療、工業	人員消除作業初（複）偵 放射性射源搜尋 未知射源偵測 複雜核種分析
Cd-109	1 μ Ci	γ 射線	醫療	放射性射源搜尋 未知射源偵測 複雜核種分析

資料來源：作者自行彙整。

偵檢（測）安全管控作為

一、個人基礎配戴裝備

參與利用射源實施偵檢(測)訓練之人員，個人輻射劑量管控主要仰賴個人警報器(EPD)及劑量佩章，前者具備劑量即時監測與警報；後者作為任務結束後人員所接受劑量之主要參考依據。所接觸之射源若為「豁免管

制量」，原則上毋須配戴任何個人警報器或劑量佩章；若為「登記備查證」，對於「密封放射性物質⁴」因其風險甚低，人員可不配戴個人警報器，僅須配戴劑量佩章；但若為「非密封放射性物質⁵」，考量人員可能直接接觸射源，人員除須完成相關防護外，則須配戴個人警報器及劑量佩章；若為「許可證」，對於「密封放射性物質」，人員須配戴個人警報器及劑量佩章，並視現場實際狀況選擇適當的個人防護；若為「非密封放射性物質」，個人警報器、劑量佩章及個人防護裝備均須著用，相關射源偵檢(測)訓練個人基礎配戴裝備建議如表 5：

表 5 射源偵 (檢) 測訓練個人基礎配戴裝備建議表

射源活度	密封/ 非密封	配 戴 裝 備		
		劑量佩章	個人警報器 (EPD)	人員防護
豁免管制量	-	×	×	×
登記備查證	密封放射性物質	○	×	×
	非密封放射性物質	○	○	○
許可證	密封放射性物質	○	○	△
	非密封放射性物質	○	○	○
圖示說明	○：須配戴，×：不須配戴，△：視現場狀況評估			

資料來源：作者自行彙整。

二、輻射劑量即時監測

體外輻射劑量評估通常直接使用個人輻射劑量警報器(EPD)進行監測，第一線緊急應變人員可透過偵檢器或警報器，獲得現場即時輻射劑量率，回報指揮官作為應變劑量限值及留置時間建議所需；或透過情資先期

⁴ 指置於密閉容器內，在正常使用情形下，足以與外界隔離之放射性物質。

⁵ 指密封放射性物質以外之放射性物質。

獲得，於任務下達時賦予劑量限值及留置時間。以國軍支援核子事故緊急應變任務而言，化學兵部隊負責執行輻射偵檢(測)之人員、執行車輛消除站開設與消除作業，均已配發個人輻射劑量警報器，以因應劑量變化，採取相關因應作為，確保人員安全。

三、個人輻射劑量計測

一般部隊雖於低輻射劑量下執行任務，但仍具備相關風險，建議可使用劑量佩章(如圖 3)紀錄所接受劑量，於每次任務前領取及配戴，任務後由劑量佩章計測系統計測人員所受輻射劑量。另外對於在高輻射劑量下執行任務或具高風險性任務之部隊，發放個人劑量佩章，可有效詳實記錄體外輻射劑量及其後續可再承受劑量評估，管制每次任務人員所受劑量，亦可作為後續醫療追蹤之依據，有效提升人員作業安全及保障。

圖 8 熱發光劑量佩章



圖 9 光刺激發光劑量佩章



資料來源：核安會 110 年地方政府輻射災害防救講習輻射偵檢儀器操作訓練簡報。

其人員訓練劑量限值建議依循《游離輻射防護安全標準》第 12 條：輻射作業造成一般人之年劑量限度，以有效劑量不得超過 1 毫西弗(1mSv)為限值。另外國軍執行任務得依任務性質規劃與律定劑量限值，在緊急應變過程中直接引用一般人之劑量限度，可能影響救災任務之順遂，建議依事故發展及指揮官決心提升劑量限值。

運用輻射源執行輻射偵（檢）測訓練規劃

在執行輻射偵檢(測)訓練前，訓練對象除應通過輻射相關基礎課程訓練外，應確實熟稔相關偵檢(測)儀器的操作，並經教官評估合格後，始可操

作，另須先行確認訓員是否為高風險人員，避免過程產生危安情事；另教官於操作不同科目應下達相對應之安全規定，甚至繕造相關切結宣導資料，請訓員確實研讀確認後簽署，讓訓員慎重參與本項訓練。筆者依自身經歷與多年觀察，規劃下列 6 種科目之訓練課程，說明如后：

一、核爆觀測與落塵偵測

(一)訓練對象：一般部隊。

(二)訓練目的：利用偵檢儀器確認核爆所在位置，進而初步判斷部隊是否遭落塵影響，以作為部隊防護、調動之參考。

(三)偵檢儀器：AN/VDR-2 野戰輻射偵測器。

(四)訓練方式：

核爆產生的物質種類繁多，主要與該武器的種類有很大關係，概分為核分裂武器與熱核子武器等 2 類，核分裂武器依其製造成分，分為鈾彈、鈾彈等；熱核子武器區分氫彈、中子彈、衝擊波彈等，其成分與產物本篇略不逐一說明，本課程規劃以鈷-60 作為訓練用射源，利用該射源產生之 γ 射線，模擬核爆後產生之 γ 射線實施訓練，事先將射源隱藏起來，訓練其利用 AN/VDR-2 野戰輻射偵測器實施偵測，並初步判斷出爆炸所在位置(偵測結果較高方向)，並可結合「化生放核警報與報告」課程，訓練其完成化生放核 1 號報告與回報。

另可利用 AN/VDR-2 野戰輻射偵測器探測管開蓋與關蓋偵測的功能，實施落塵簡易偵測，如「開蓋偵測($\beta+\gamma$ 射線)」-「關蓋偵測(γ 射線)」等於 β 的劑量，因其游離能力不大，貫穿能力能在空氣中穿過幾公尺至幾十公尺後才被吸收，因此若能偵測到 β 的劑量，即代表已有落塵飄散之週邊，教官可利用狀況下達方式，引導學員熟稔如何判斷落塵是否對部隊造成影響。

二、人員消除作業初(複)偵

(一)訓練對象：化學兵部隊。

(二)訓練目的：利用偵檢儀器對受汙染人員實施初(複)偵作業，訓練其作業程序、動作是否正確，另對於具汙染反應之身體部位是否了解相關處置作為。

(三)偵檢儀器：COMO170 表面輻射污染偵測器、LB-124 表面輻射污染偵測器

(四)訓練方式：

該訓練在模擬遭核爆落塵污染、放核恐怖攻擊污染或核電廠緊急應變事故遭污染之人員，透過化學兵偵消部隊實施人員消除作業，於消除作業前後，藉由偵檢人員運用表面輻射污染偵測器實施初(複)偵作業，訓練學員熟悉人員表面污染偵測的作業程序，作業程序請參照圖 10、11。

該訓練可利用人型模特兒(如圖 12)在穿著衣物的情形下，教官事先將射源 Eu-152(α 射源)、Na-22(β 射源)或 Cs-137(γ 射源)皆可，預置於身體或軀幹某部位或複數部位，測驗訓員是否能運用偵檢儀器發現污染物質，並依準則相關程序實施紀錄與標示，以利人員有效對污染部位實施消除作業，亦可設定為消除後之複偵作業。

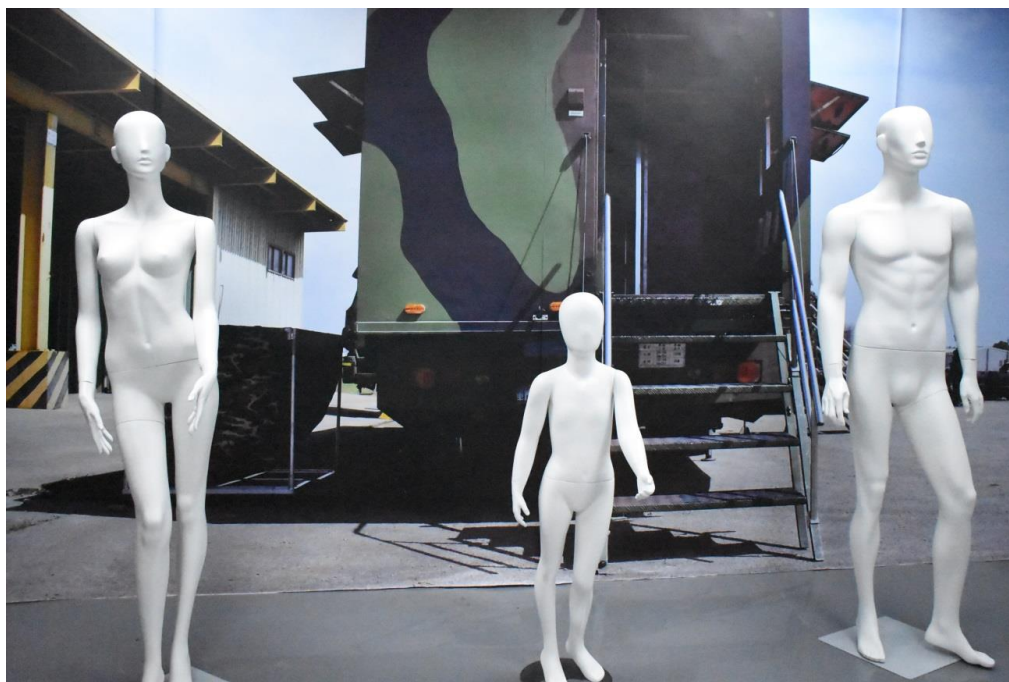
圖 10 人員表面輻射偵測順序
(正面)



圖 11 人員表面輻射偵測順序
(背面)



圖 12 人型模特兒用於人員表面輻射偵測示意圖



資料來源：化生防核防護研究中心提供。

三、放射性射源搜尋

(一)訓練對象：化學兵部隊。

(二)訓練目的：利用偵檢儀器對未知或已知核種射源實施搜尋作業，訓練學員是否能選擇適當的偵檢儀器，偵檢的動作是否正確。

(三)偵檢儀器：各式輻射偵檢儀器均可，應選取高靈敏度者。

(四)訓練方式：

該訓練可區分為未知核種與已知核種等 2 種不同情境的射源搜尋訓練，未知核種旨在訓練學員對於未知狀況情境下，是否能選擇適切的偵檢儀器實施偵測，並依偵測過程中儀器對射源的反應，適時調整偵測模式與轉換使用其他儀器，協力完成任務；已知核種在於訓練學員在已獲得核種種類的相關資訊下，能否瞭解儀器特性及比對其資料庫，選擇偵測效益最佳之儀器，已減少偵測誤失，提升偵測效率。

訓練建議選擇產生 γ 射線之射源(如 Co-60、Cs-137、Cd-109 等)實施訓練，教官初步可選擇開闊之區域，預先將射源實施掩蔽、掩埋(訓練後須挖出攜回，依主管機關射源管理規範存管)，訓練學員在大範圍面積之場景下，如何有效率、有規劃性的實施搜尋，亦可以小組方式

實施訓練，使其具備任務分工之概念；在訓員具備一定概念後，可進階規劃建築物內部實施射源搜尋訓練。

四、恐怖攻擊事件應處

(一)訓練對象：化學兵部隊。

(二)訓練目的：學習在面對放射性落塵景況下搭配防護裝具執行偵測作業，對於未爆炸之輻射髒彈如何兼顧自身安全前提下執行應處。

(三)偵檢儀器：各式輻射偵檢儀器、個人警報器，配合科目規劃選用。

(四)訓練方式：

該訓練區分為 2 項，分為輻射髒彈恐怖攻擊後之落塵偵測與未爆炸之輻射髒彈散佈裝置之偵測作業。落塵偵測訓練旨在訓練學員利用輻射偵測器、表面汙染偵測器，甚至利用採樣設備實施採樣，再運用手提式汙染計數器實施計測，另人員本身是否應完成防護，配戴個人劑量警報器、劑量佩章等相關設備，皆可納入綜合演練與驗證，其訓練方式較為多元與複雜，教官可透過想定情境下達、引導等方式誘導其偵測器的選擇，驗證學員在複雜環境下，是否具備應處能力。

未爆炸之輻射髒彈散佈裝置之偵測作業，該狀況應先向學員說明情境為已排除爆裂物爆炸、評估對作業人員無立即危害性之前提下，授命執行作業，學員在不明瞭髒彈所含核種種類與強度情況下，該如何運用偵檢儀器、表面汙染偵測器、採樣設備、手提式汙染計數器實施計測，另外長桿式輻射偵測器是否納入運用，以有效減少人員風險。

輻射髒彈有可能使用之核種種類繁多，如表 6 所示，可能恐怖份子透過竊盜、撿拾、不當販賣等非法管道獲得，其訓練規劃可不用受限於使用特定射源實施訓練。

表 6 可能應用於輻射髒彈之核種及其基本性質

核種	半衰期 (年)	比活度 (Ci/g)	主要衰減 模式	平均輻射能量(MeV)		
				α	β	γ
鈾-210	0.4(138 天)	4,500	α	5.3	-	-
鐳-226	1,600	1	α	4.8	0.0036	0.0067

銻-238	88	17	α	5.5	0.011	0.0018
銻-241	430	3.5	α	5.5	0.052	0.033
銻-252	2.6	540	α	5.9	0.0056	0.0012
鐳-90	29	140	β	-	0.20,0.94	-
銻-192	0.2(74 天)	9,200	β	-	0.22	0.82
鈷-60	5.3	1,100	γ	-	0.097	2.5
銻-137	30	88	γ	-	0.19,0.065	0.6

五、未知射源偵測

(一)訓練對象：化學兵部隊。

(二)訓練目的：在缺乏各項情資狀況下，能在兼顧自身安全前提下，運用各項偵檢儀器實施偵測、分析，並提供後續處置建議。

(三)偵檢儀器：各式輻射偵檢儀器、個人警報器，配合科目規劃選用。

(四)訓練方式：

可比照本篇前段「美國輻射偵測訓練探討」中航空貨運盤櫃測得異常輻射劑量反應的模式實施訓練，規劃於一大型設施或容器裡，事先放置 γ 射源(如 Co-60、Cs-137、Cd-109 等，避免偵測不到)，考驗學員在未能觀看到射源的情況下，如何執行各項偵測，其訓練程序如后：

- 1.異常回報：**人員回報測得異常輻射劑量反應。
- 2.管制區劃分：**通報專責編組人員實施輻射偵測作業，到場後先行完成汙染風險區劃分與隔離，管制非作業人員不得進入，確維周邊人員安全。
- 3.核種分析：**專責人員完成自身防護裝具穿戴後，接續採用核種分析儀，初步獲得核種種類與分布情形，以作為風險高低之判斷。
- 4.表面輻射偵測：**接續使用擦拭紙於外部實施輻射擦拭採樣作業，再使用表面輻射偵測器對樣品實施偵測作業，藉由偵測結果初步判斷表面是否遭受汙染。
- 5.開啟設施：**須至少2員專業人員搭配實施，1員負責開啟設施，1

員負責使用長桿式輻射偵測器實施偵測；開啟過程中，須採緩慢開啟方式，配合長桿式偵檢器靠近判斷輻射劑量高低，在確認可接受劑量強度下逐步開啟整個外蓋。

6.搜尋輻射源：待外蓋打開後，透過照明及偵檢器對射源實施搜尋作業，找出輻射源後，偵測其表面輻射劑量與核種分析，再次評估其風險，再行規劃射源移除方式與步驟。

六、複雜核種分析

(一)訓練對象：化學兵部隊。

(二)訓練目的：對單一或複雜核種具備利用偵檢儀器執行核種分析作業。

(三)偵檢儀器：手提式快速核種偵檢分析儀。

(四)訓練方式：

該訓練區分單一核種分析與複雜核種分析 2 部分，單一核種分析為初階訓練，旨在訓練學員是否會正確使用該儀器；複雜核種分析為一進階訓練，以手提式核種分析儀來偵測，可能會肇生無法偵測或偵測錯誤等情事，用以訓練學員分析事故種類(如核電廠、工業、醫療等)，藉以推斷外釋核種種類，續以對儀器資料庫實施選擇或排除，以減少分析誤判率，提升分析準確性；另外可結合放射性物質採樣作業，訓練採樣程序與執行作法，在後送交由實驗室實施分析作業。

結語

以往輻射偵(檢)測訓練著重於學習儀器的操作，未能搭配射源實施擬真情境下的組合操作，筆者借鏡美方的訓練經驗，結合國軍平戰時任務所需，運用符合法規規範之射源，規劃輻射偵(檢)測訓練，以作為訓練模式的參考，期使學員能在更貼近實際場景的狀況下，執行相關任務。

有關射源的運用與選擇部分，考量法規的規範與管理方便，建議選用「登記備查證」或「豁免管制量」活度的射源；本文所運用之射源僅以中心現行存管使用之射源為代表，並非限制、指定特定射源，建議可在實施訓練與評估後，規劃採購其他射源，納入訓練使用，使訓練想定、狀況與科目能更有彈性、更具挑戰性，逐步提升學員專業能力。

本篇所述僅為粗略的訓練規劃，仍有部分不甚周延與待精進之處，希冀透過本篇提供「建立基本訓練模式」與「拋磚引玉」效果，能引發、激盪出更多寶貴建議與構想，以強化訓練成效，茁壯兵科專業，以能肆應各種放核任務，確保部隊戰力保存。

參考文獻

- 1.U.S. DOE/NNSA, International Consequence Management, I-CM, 2012。
- 2.ICRP, The 2007 Recommendation of the International Commission on Radiation Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(3).
- 3.エネルギー レビュー，〈ICRP新勧告特集〉，2007年11月。
- 4.行政院原子能委員會，郭子傑，〈赴日本參加輻射生物效應國際研討會出國報告〉，2018年5月。
- 5.行政院原子能委員會，《游離輻射防護法》，2002年1月30日。
- 6.北部輻射監測中心，《地面機動偵測儀作業程序書》、《核子事故緊急應變北部輻射監測中心作業程序書》，2014年7月。
- 7.北部輻射監測中心，《空中輻射偵測作業程序書》、《核子事故緊急應變北部輻射監測中心作業程序書》，2014年7月。
- 8.北部輻射監測中心，《海上機動偵測儀及取樣作業程序書》、《核子事故緊急應變北部輻射監測中心作業程序書》，2014年7月。
- 9.賴政國，〈核子與放射性物質事件國軍防救之研究〉，2011年7月。
- 10.許芳裕，〈人員體外劑量監測〉，2012年8月。
- 11.Counter Terrorism Operations Support (CTOS)，網址：WWW.ctosnnsa.org。