



各國軍用手持式化學偵檢器運用之研析

作者簡介



作者黃品儒士官長，陸軍專科學校化學工程科 100 年班，陸軍化生放核訓練中心士官高級班 104-2 期、陸軍專科學校士官長正規班 108 年班，歷任班長、化學兵防護士，現為化訓中心化學組教官。

提要

- 一、化學汙染危害與威脅不僅侷限於毒性化學物質，包含化學戰劑及關注化學物質等由人類製造之有機及無機物。平時發生化學汙染災害意外事故外，亦有可能發生人為蓄意的恐怖攻擊事件。
- 二、應在平時完備相關化學偵檢儀器，以便在事件狀況發生時，能快速辨別威脅來源與種類及早發現與處置，以降低對我們的危害。
- 三、國軍化學兵部隊現行使用之手持式偵檢裝備已使用十餘年，因服役時間長且科技亦趨成熟，隨著科技的發展及關鍵技術的突破，裝備性能與功能已有大幅度之提升，建議可納入未來裝備提升與建置之參考。
- 四、本研究旨在探討其他國家軍隊在化學汙染危害與威脅時所運用之手持式偵檢裝備，透過分析和比較各國裝備的性能與運用，作為爾後教學、訓練及未來裝備採購之參考，以利國軍化學兵部隊在化學汙染危害與威脅下能有效地執行平、戰時任務。

關鍵詞：化學汙染危害與威脅、手持式偵檢裝備

前言

國軍化學兵執行戰時化學任務或平時化學災害救援作業時，作業人員必須選用偵檢儀器實施危害物質偵測，辨識危害物質種類或濃度，查詢「緊急應變指南 Emergency Response Guidebook」或「安全資料表 Safety Data Sheet」，對應危害初期隔離距離及物質性質與特性，作為防護措施、危害區域劃分、確保人員作業安全及消除作業之依據。國軍化學兵部隊偵檢組現行使用之化學偵檢儀器包含 ChemPro100i 化學戰劑偵檢器(以下簡稱 ChemPro 100i、PHD6



氣體偵測器(以下簡稱 PHD6)、MR170 化學遠距遙測偵檢器(以下簡稱 MR170)及 E2M 氣相層析質譜儀(以下簡稱 E2M)。

現行使用之四種化學偵檢儀器，其中 MR170 為配置在核生化偵檢車，針對可疑氣雲以非接觸方式，利用紅外線光譜原理進行定點遠距監測，E2M 同 MR170 配置在核生化偵檢車，採定點式操作，經由取樣器將樣品輸送至質譜儀進行樣品分析，餘兩種 ChemPro100i 及 PHD6 為手持式偵檢儀器，均須藉由人員手持偵檢儀器進入汙染區實施偵檢，並僅限於偵檢氣態之汙染物，如遇液態或固態之汙染物，須由人員將樣品取樣後，再利用氣相層析質譜儀進行分析。

本文主要目的在綜整其他國家軍隊在化學汙染危害與威脅時所運用之手持式偵檢裝備，透過分析和比較各國裝備的性能與運用，提供符合需求之手持式偵檢裝備資訊，作為爾後教學、訓練及未來裝備採購之參考，期達有效快速地執行平、戰時任務。

化學偵檢裝備的定義與分類

一、定義

化學偵檢裝備為係用來感測、辨識、偵測或分析化學物質之裝置與工具，在軍事、工業、環境監測及緊急災害應變中廣泛應用。主要的功能為即時偵檢(測)出並確認是否有化學物質之存在，以利操作者了解環境中之物質種類，其因氣體偵測之感測原理及方式不同，適用的時機與用途亦有所不同。氣體偵測器之感測原理區分如下(偵檢器感測原理之適用性比較表如表 1)：

(一)電化學(Electro Chemical)氣體偵測器：待測氣體進入感測器表面半透膜，溶解於電解液中接觸到感測電極，在電極表面產生氧化或還原反應，形成帶電物質，其帶電物質在電解液中由感測電極擴散至對電極形成電路，藉量測電流變化以得知氣體濃度。

(二)觸媒燃燒(Catalytic Combustion)氣體偵測器：待測氣體進入感測器，與內部觸媒材料反應產生熱量，藉由感測元件及補償元件溫度的變化轉換為電信號，藉以得知氣體濃度。

(三)光學(Optical)氣體偵測器：利用氣體吸收光的強度或以特定波長反射或散射，來進行測量氣體濃度，常見的光學式偵測技術有吸收光譜法、非分散



紅外技術、光學多通道分析技術、拉曼光譜法及激光誘導螢光技術等。

(四)金屬氧化物半導體(Metal Oxide Semiconductor)氣體偵測器：金屬氧化物如氧化鋅及氧化錫等，須要在一定的工作溫度下使用(200度至400度)，其感測原理因半導體氧化物表面之導電率因氣體吸附而產生氧化或還原變化，藉量測電阻值變化換算以得知氣體濃度。

(五)紅外線(Infrared)氣體偵測器：利用紅外線光譜吸收可燃性氣體分子的特性，並與參考原始光譜進行比較，以測量氣體濃度。

(六)光游離(Photo Ionization)氣體偵測器：氣體進入感測器後，以紫外光游離氣體分子，氣體游離後再以正電荷電極收集游離電子，藉電流強弱變化，偵知氣體濃度。

(七)火焰光譜(Flame Spectrometry)偵測器：透過將樣品中的元素引入火焰，激發並發射特定波長的光來分析元素和化合物的存在與濃度。

表 1 偵檢器感測原理的適用性比較表

感測原理	適用時機	優點	缺點
電化學	偵測較低濃度氣體	高靈敏度 低功耗	對環境溫、溼度敏感 感測器壽命較短
觸媒燃燒	偵測易燃性氣體	穩定性佳 準確性佳	環境須有氧氣 高耗能
光學	偵測氣體濃度 或成分分析	非接觸式偵測 反應速度快	機器價格高 對環境粉塵和濕度 較敏感
金屬氧化物 半導體	可燃性氣體和 揮發性有機化合物	靈敏度高 反應速度快	對環境溫、溼度敏感 須定期校正
紅外線	偵測非可燃性氣體	偵測無色無味氣體 壽命長	機器價格高 對環境溫、溼度敏感
光游離	揮發性有機化合物 和其他有毒氣體	靈敏度高 反應速度快	對環境溫、溼度及 粉塵敏感

		偵測多種有機和 無機氣體	易受到其他氣體 交叉影響
火焰光譜	分析元素或化合物 存在與濃度	靈敏度高、分析快速 操作簡單	易受共存元素干擾 不易偵測非金屬或 重金屬元素、易受溫 度與氣體流速影響

資料來源:作者自行整理。

二、分類

(一)可攜式氣體偵測器：體積較小，重量較輕，方便操作者隨身攜帶，用來針對特定環境或物質實施偵檢(測)。偵測器(分析儀)類型的適用性比較表(如表2)。

- 1.單一氣體偵測器：**僅針對一種特定的化學氣體實施偵測，靈敏度較高，即時顯示氣體濃度，可設定警報值提供警示。
- 2.多功能氣體偵測器：**能同時偵測多種化學氣體濃度偵測器，依操作者需求可選擇或更換不同的感測器，以適應各種複雜的應用場景，可設定警報值提供警示，具備數據紀錄與傳輸功能，將偵測氣體濃度數據儲存，並提供操作者即時將偵測結果傳輸至電腦或後端指揮者分析和回報。
- 3.氣體指示劑管：**操作簡單有效，用於空氣中化學氣體濃度定性或定量之偵測，藉由手動泵浦將待測氣體輸入特定試劑之指示劑管，透過指示劑管內與氣體接觸後之顏色變化，操作者判讀指示劑管上之數值刻度，來估算氣體之濃度。使用時不須電源驅動即可操作，僅限針對已知化學氣體種類實施偵測。

(二)固定式氣體偵測器：安裝於特定定點，用於持續監測環境中化學氣體濃度，靈敏度較高，可即時顯示氣體濃度數值，並可設定警報值提供警示，具備數據傳輸功能，將偵測氣體濃度數據即時回傳中央控制端，供操作人員監控與分析濃度變化。通常安裝於工業設施、實驗室或須要持續監測有害氣體之場所，以確保人員健康與安全。

(三)分析儀器：用於使用定性或定量分析化學物質之組成和性質，檢測待測樣



樣品中的成分、濃度與結構等資訊。

1.光譜儀：利用光與物質之相互作用分析化學物質成分與結構。

- (1)紫外線-可見光譜儀(UV-Vis/NIR spectrometers)
- (2)紅外線光譜儀(Fourier-transform infrared spectroscopy, IR)
- (3)拉曼光譜儀(Raman spectroscopy)
- (4)原子吸收光譜儀(Atomic absorption spectroscopy, AAS)
- (5)離子遷移光譜(Ion mobility spectroscopy, IMS)

2.色譜儀：透過分離樣品中的成分進行分析。

- (1)氣相層析儀(Gas chromatography mass spectroscopy, GC)
- (2)液相層析儀(High performance liquid chromatography, HPLC)
- (3)離子色譜儀(Ion chromatography, IC)

3.質譜儀(Mass spectroscopy, MS)：透過測量離子的質量、電荷比分析待測樣品之分子結構與組成。

4.核磁共振儀(Nuclear magnetic resonance, NMR)：利用核磁共振現象研究分子結構、動力學與相互作用。

表 2 偵測器(分析儀)類型的適用性比較表

類型	適用時機	優點	缺點
單一氣體偵測器	偵測特定氣體	易攜帶、靈敏度高	僅偵測單一氣體
多功能氣體偵測器	同時偵測多種氣體	易攜帶、同時偵測多種氣體	偵測氣體之靈敏度較不如單一氣體偵測器
化學氣體指示劑管	快速偵測特定氣體	易攜帶、操作簡單 無須電源	無法連續偵測、 一次性使用
固定式氣體偵測器	長期監測	自動警報與連動系統	無法移動在固定的 位置與空間
紫外線-可見光譜儀	分析溶質化合物	動溶質適應性強 靈 度高	限吸收範圍內化合物 無法分析分子結構

紅外線光譜儀	分析有機化合物	分析分子結構 多種類型樣品	須測前處理、對部分物質靈敏度有限
拉曼光譜儀	分析材料結構	分析多種材料、對水分子不敏感	對部分材料偵測信號弱
原子吸收光譜儀	分析痕量金屬元素	分析多種金屬元素	須測前處理、無法分析有機物、非金屬元素
離子遷移光譜	分析氣態或氣溶膠混合物	高靈敏度、應用各類離子遷移質譜儀	僅能分析物質種類及濃度
氣相層析儀	分析揮發性有機化合物	分析多種化合物	樣品須氣化 分析時間長
液相層析儀	分析非揮發性有機化合物	分析多種化合物	分析時間長
離子色譜儀	分析溶質中離子、部分有機酸、胺類	偵測極限佳	須測前處理、無法分析不能溶於水之物質 分析時間長
質譜儀	分析純樣品及複雜混合物、分子結構	分析多種化合物	分析時間長
核磁共振儀	分析化合物結構、動態過程與相互作用	適用分析液、固態樣品分子結構	數據解析須具備專業知識、對樣品濃度要求高

資料來源:作者自行整理。

各國軍隊使用手持式化學偵檢裝備運用現況

手持式化學偵檢裝備用於偵測和辨識各種有害化學物質，以提供軍隊了解危害物質種類和濃度，作為後續消除及管制措施參考，本次針對各國軍隊使用之手持式化學偵檢裝備進行蒐整，計有我軍、美軍、英軍與法軍、日本與韓國及中國解放軍等 7 個國家，偵檢器運用及諸元性能如下：

一、我國

(一)ChemPro100i 化學戰劑偵檢器



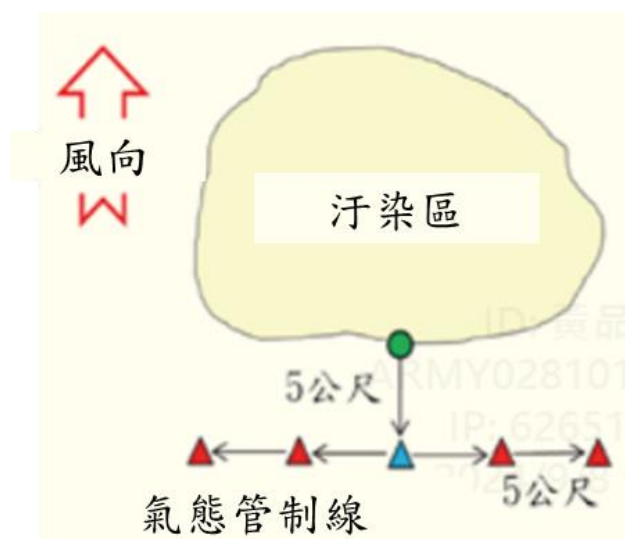
- 1.配賦於偵檢班所使用之ChemPro100i(如圖1左)·化學兵於民國97年購買服役迄今·使用已逾16年·於室外使用即時趨勢圖(如圖1右)搜索氣態污染區前緣·並確認危害物質種類與概略濃度·完成氣態管制線標示·劃分危害區域(如圖2)·以利汙染迴避及管制人員；於進入室內前在入口處確認是否有危害物質存在·針對室內可疑污染物或位置實施偵檢；另用於執行消除後車輛及人員之複偵作業·其諸元與性能如表3。

圖1 ChemPro100i化學戰劑偵檢器(左)、即時趨勢圖(右)



資料來源:作者自攝。

圖 2 氣態管制線標示



資料來源:<陸軍化學兵偵消部隊訓練教範>·2024年7月29日·第三章、第五節·頁3-236。



表 3 ChemPro100i 化學戰劑偵檢器諸元性能表

名稱	ChemPro100i 化學戰 偵檢器
感測器類型	離子遷移光譜(射源鉬 241)及半導體感測
尺寸	24 x 10 x 5.5 公分
重量	970 公克
電源供應	充電式鋰電池(5 小時)及鹼性電池(12 小時)
資料庫	10 種化學戰劑(CWAs)及 29 種毒化物(TICs)
泵浦抽氣量	抽氣流量 1.3 L min
溫度範圍	-33°C至+55°C
認證	通過 MIL-STD 810F、MIL-STD 461E 標準認證

資料來源:<陸軍化學兵專用裝備操作手冊>，2024 年 7 月 29 日，第三章第六節、<ChemPro®100i Handheld Chemical Detector>，2024 年 7 月 29 日，<www.environics.fi>。

2. ChemPro100i 資料庫有 10 種化學戰劑(CWAs)及 29 種毒化物(TICs)兩種，操作者可依需求選擇需要之資料庫，化學戰劑僅能顯示其種類與濃度(低、中或高)；若偵測到毒化物資料庫內之毒化物則顯示「Toxic」字樣及濃度(低、中或高)，若沒有在資料庫內之毒化物則顯示「Chemical Detected」字樣及濃度(低、中或高) (警告圖示如圖3)。

圖 3 ChemPro100i 警告顯示圖示



資料來源:作者自攝。

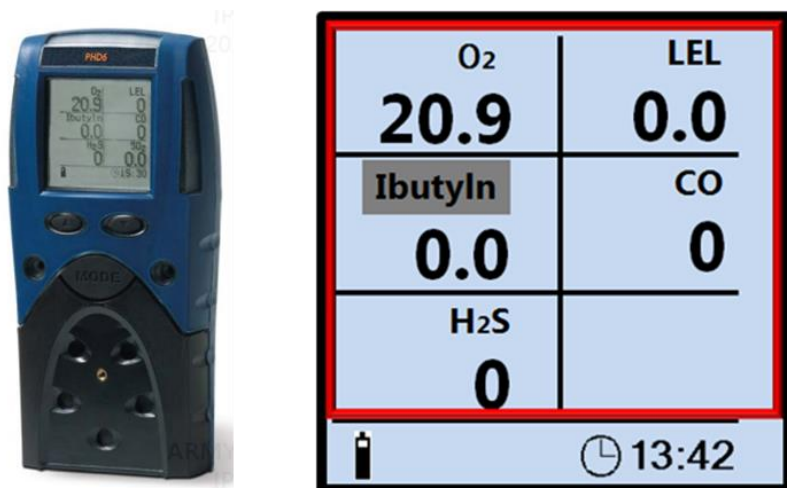
(二)PHD6氣體偵測器：

1. 配賦於偵檢班所使用之PHD6(如圖4左)，用於室外偵測汙染區及進入室



內前在入口處之空氣含氧量，是否含有一氧化碳、硫化氫、揮發性有機化合物濃度與可燃性氣體濃度(如圖4右)，以供部隊排除危險因子並採因應措施，諸元與性能如表4。

圖 4 PHD6 氣體偵測器(左)、偵測畫面(右)



資料來源:作者自攝、<陸軍 PHD6 氣體偵測器操作手冊(第一版)>，2024 年 7 月 29 日，第三章。

表 4 PHD6 氣體偵測器諸元性能表

名稱	PHD6 氣體偵測器
感測器類型	光游離、觸媒燃燒及電化學感測
尺寸	7.5 x 8 x 17.6 公分
重量	484 公克
電源供應	充電式鋰電池(22 小時)及鹼性電池(15 小時)
資料庫	氧氣、一氧化碳、硫化氫、137 種揮發性有機化合物 VOCs 及 236 種可燃性氣體 (依任務需求可更換 19 種氣體感測器)
泵浦抽氣量	抽氣流量 1 L/mi
溫度範圍	-20°C至+50°C

資料來源:<陸軍 PHD6 氣體偵測器操作手冊(第一版)>，2024 年 7 月 29 日，第二章。

2.PHD6可偵測氧氣、一氧化碳、硫化氫、137種揮發性有機化合物VOCs及236種可燃性氣體，其中揮發性有機化合物若為已知並為137種資料

庫中的一種，可直接選定該揮發性有機化合物，其偵測之數值較為準確(如圖5)；可燃性氣體資料庫無法選定，僅能顯示當下偵測之可燃性氣體濃度。

圖 5 PHD6 主畫面顯示設定之揮發性有機化合物



資料來源:<陸軍 PHD6 氣體偵測器操作手冊(第一版)>，2024 年 7 月 29 日，第二章。

二、美軍

(一)美軍於2024年1月22日至1月26日在麥喬德聯合基地舉辦年度最佳爆炸物處理團隊競賽(The best Explosive Ordnance Disposal Team Competition)¹及，使用Light Chemical Detector, LCD系列(以下簡稱LCD)，執行化學威脅偵測(如圖6)，LCD系列具標準模式與調查模式，當偵測到資料庫內之危害物質發出警告時，即顯示該物質名稱及概略濃度(1至8格)如圖7，LCD系列有LCD3.3及LCD4，其偵檢器諸元與性能如表5。

1.年度最佳爆炸物處理團隊競賽。資料擷取自：<U.S. ARMY>，2024 年 7 月 29 日，<[http://army.mil/article-amp/275891/fort drum newyork based team Wins at my explosive ordnance disposal competition](http://army.mil/article-amp/275891/fort-drum-newyork-based-team-wins-at-my-explosive-ordnance-disposal-competition)>。

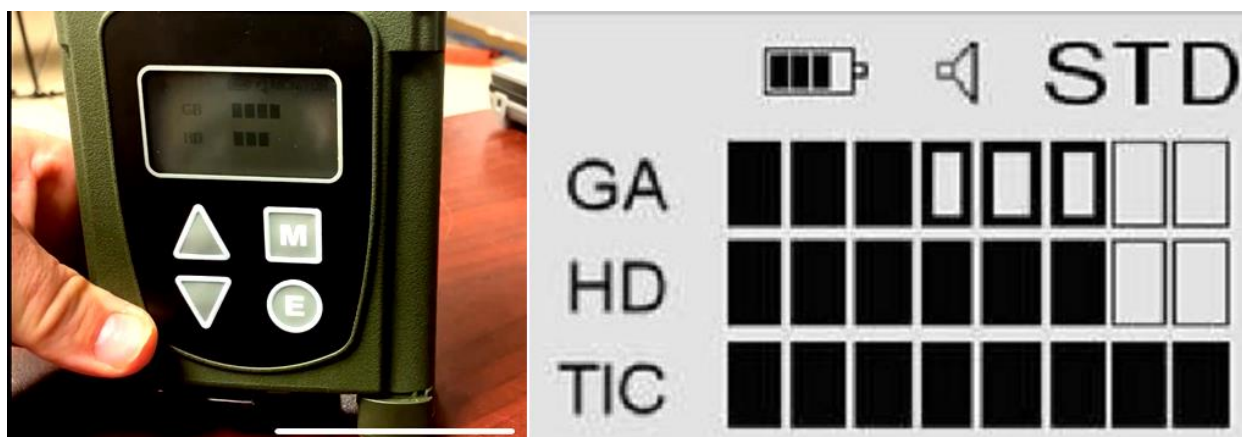


圖 6 美軍使用 LCD 系列實施偵檢



資料來源: <U.S. Department of Defence> , 2024 年 7 月 29 日 ,
<<http://www.dvidshub.net/image/8218049/3d-eod-team-year-competition>> 。

圖 7 LCD 發出警報顯示該物質名稱及概略濃度



資料來源: <David Dunlap> , 2024 年 7 月 29 日 , <<https://youtube/C79gD2g7gCk?si=515BnnttxS3LURPu>> 、<manualslib> ,
<<https://www.manualslib.com/manual/2074305/Smiths-Detection-Lcd-3-3.html?page=9#manual>> 。

表 5 LCD 系列諸元性能表

名稱	Light Chemical Detector 3.3, LCD 3.3	Light Chemical Detector 4, LCD 4
感測器類型	離子遷移光譜	離子遷移光譜
尺寸	10.6 x 18.0 x 4.65 公分	10.6 x 18.0 x 4.65 公分



重量	650 公克	580 公克
電源供應	AA 鋰離子或 AA 鹼性二氧化錳電池(約 75 小時)	AA 鋰離子或 AA 鹼性二氧化錳電池(約 75 小時)
資料庫	4 種化學戰劑(CWAs)及特定毒化物(TICs)	4 種化學戰劑(CWAs)及特定毒化物(TICs)可擴充 XID 模組對麻醉品、爆炸物和非傳統製劑採樣及檢測
取樣反應時間	標準模式 5 秒、 調查模式 1 秒	標準模式 5 秒、 調查模式 1 秒
溫度範圍	-32°C至+50°C	-32°C至+49°C
認證	通過 MIL-STD 810G、 MIL- TD 461F 標準認證	通過 MIL-STD 810、 MIL-STD-461 標準認證

資料來源:<Smiths detection>，2024 年 7 月 29 日，<<http://www.smithsdetection.com/loctions>>

(二)美軍於2024年5月29日至6月3日在倫納德伍德堡舉辦最佳化生放核戰士競賽(The best CBRN Warrior Competition²)中，使用FirstDefender™ RMX Handheld Chemical Identification(以下簡稱RMX)、Thermo Scientific TruDefender FTX(以下簡稱FTX)、MultiRAE PRO及MultiRAE，執行危害物質偵測與鑑別(如圖8)，RMX對於待測樣品進行偵測後，可得知物質成分名稱及質譜分析畫面(如圖9)；FTX對於待測樣品進行偵測後，可得知物質成分名稱及其CAS編號(如圖10)；MultiRAE PRO可偵測輻射及安裝5種感測器，MultiRAE可安裝5種感測器，偵測畫面如圖11，其偵檢器諸元與性能如表6、表7、表8及表9。

2.The best CBRN Warrior Competition，最佳化生放核戰士競賽。資料擷取自：<U.S. ARMY>，2024 年 7 月 25 日，<http://army.mil/article-amp/277047/fort_drum_team_takes_top_spot_at_2024_international_best_cbrn_warrior_competition>。



圖8 美軍使用RMX、MultiRAE PRO及MultiRAE實施偵檢



資料來源: <fortleonardwood Instrgram> , 2024 年 7 月 29 日 , <<http://www.instrgram.com/Fortleonardwood?igsh=MXZ4cjAyZjBveDNvaQ=>>> 。

圖 9 RMX 偵測之物質成分名稱及質譜分析畫面



資料來源: <Ken' s Safety Instrumentation Videos> , 2024 年 7 月 29 日 , <<https://youtu.be/n7Nm6QUNSEQ?si=3iO-SHYN2ktyegUK>>

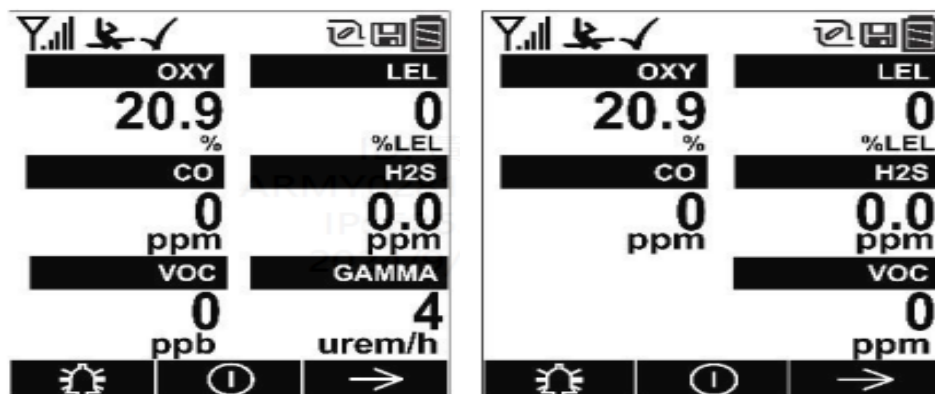
圖 10 FTX 偵測之物質成分名稱及 CAS 編號畫面



資料來源: <Thermo> , 2024 年 7 月 15 日 , <<http://www.tools.thermo fisher.com/contents/sfs/brochures/TruDefender-FTX-HazChem-Spec>>

Sheet.pdf>

圖 11 MultiRAE PRO 及 MultiRAE 顯示畫面



資料來源: <MultiRAE Series User's Guide> · 2024 年 7 月 29 日 · <www.raesystems.com>。

表 6 RMX 諸元性能表

名稱	First Defender™ RMX Handheld Chemical Identification
感測器類型	拉曼光譜儀
尺寸	19.6 x 11.4 x 6.1 公分
重量	919 公克
電源供應	鋰電池或一次性電池，操作 4 小時以上
偵測距離	6 毫米 有安裝鼻錐 5 毫米
感測曝光	手動、自動模式最短 5 毫秒
資料庫	爆裂物、化學戰劑(CWAs)、毒化物(TICs) 麻醉品、前體、白色粉末等，綜合 NIOSH 和 CAMEO 資料庫提供全面的現場危險資料
溫度範圍	-20°C至+40°C
認證	通過 MIL-STD 810G 標準認證、IP67 標準

資料來源: <AZOMaterials> · 2024 年 7 月 29 日 · <<http://www.azom.com/equipment>>。

表 7 FTX 諸元性能表

名稱	Thermo Scientific TruDefender FTX
感測器類型	傅立葉轉換紅外光(FTIR)光譜



尺寸	22.61 x 11.43 x 5.33 公分
重量	1410 公克
電源供應	鋰電池或一次性電池，操作 4 小時以上
光譜範圍	4000cm ⁻¹ 至 650cm ⁻¹
光譜解析度	4cm ⁻¹
資料庫	爆裂物、毒化物(TICs)、麻醉品、毒品、前體、白色粉末等
溫度範圍	-20°C至+40°C
認證	通過 MIL-STD 810G 標準認證、IP67 標準

資料來源: <Thermo>，2024 年 7 月 15 日，<<http://www.tools.thermo-fisher.com/contents/sfs/brochures/TruDefender-FTX-HazChem-SpecSheet.pdf>>

表 8 MultiRAE PRO 諸元性能表

名	MultiRAE PRO
感測器類型	多功能氣體偵測器
尺寸	19.3 x 9.65 x 6.6 公分
重量	880 公克
電源供應	可充式鋰電池，操作 12 小時/充電<6 小時 長效型鋰電池，操作 18 小時/充電<9 小時 4 顆 AA 鹼性電池，操作平均 6 小時
取樣	平均泵浦氣流率 250 cc/min
資料庫	伽馬輻射、超過 25 種可選擇感測器(含光游離感測 VOCs、電化學感測毒化物(TICs)與氧氣、可燃性氣體 EL、紅外線雷射感測、紅外線雷射感測二氧化碳)
溫度範圍	-20°C至+5 °C
認證	通過 MIL STD 810G 標準認證、IP65 標準

資料來源:<HoneyWellPAE>，2024 年 7 月 29 日，<https://prod-edam.honeywell.com/content/dam/honeywell-edam/sps/his/en-us/products/gas-and-flame-detection/documents/Datasheet_MultiRAE20Pro_DS-1068-11_US-EN_LR.pdf>。



表 9 MultiRAE 諸元性能表

名稱	MultiRAE
感測器類型	多功能氣體偵測器
尺寸	19.3 x 9.65 x 6.6 公分
重量	880 公克
電源供應	可充式鋰電池，操作 12 小時/充電<6 小時 長效型鋰電池，操作 18 小時/充電<9 小時 4 顆 AA 鹼性電池，操作平均 6 小時
取樣	平均泵浦氣流率 250 cc/min
資料庫	超 25 種可選擇感測器(含光游離感測 VOCs、電化學感測毒化物(TICs)與氧氣、可燃性氣體 EL、 外線雷射感測、紅外線雷射感測二氧化碳)
溫度範圍	-20°C至+50°C
認證	通過 MIL-STD 810G 標準認證、IP65 標準

資料來源:<slideshare>，2024 年 7 月 29 日，<<http://www.Slideshare.net/slideshow/raesystems-multirae-protable-gas-detectors-brochure/46224166>>。

三、英軍與法軍

(一)英軍參與北約多國化生放核防禦部隊(Nato Multinational Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Defence Battalion)³於2023年7月10日至7月28日至加拿大薩菲爾德部基地，在此次精準反應演習(Exercise Precise Response)實毒化生放核訓練中⁴，使用RMX、LCD(如圖12)及AP4C Universal Chemical Detector(如圖13)，執行化學危害物質偵測，其中AP4C Universal Chemical Detector(以下簡稱AP4C)可偵

3.部屬北約聯合部隊執行任務，具備可信的化生放核能力，為確保聯盟在化生放核環境中自由的行動。資料擷取自:<U.S. ARMY>，2024 年 7 月 30 日，<<http://shape.nato.int/about/aco-capabilities2/nato-multinational-chemical-biological-radiological-and-nuclear-defence-battalion>>。

4.本次參與部隊來自加拿大、法國、德國、英國及美國等 14 個化生放核單位。資料擷取自:<U.S. ARMY>，2024 年 7 月 30 日，<http://army.mil/article-amp/269008/nato_troops_complete_live_agent_cbrn_training_at_excercise_percise_reponse_in_canada>。



測樣品中是否含有磷、砷、硫三個原子及氫-氮-氧鍵(HNO)(顯示面板如圖14)，上述原子與鍵存在於大多數之化學戰劑及危險物質中，其諸元與性能如表10。

圖 12 英軍使用 RMX、LCD 實施偵檢



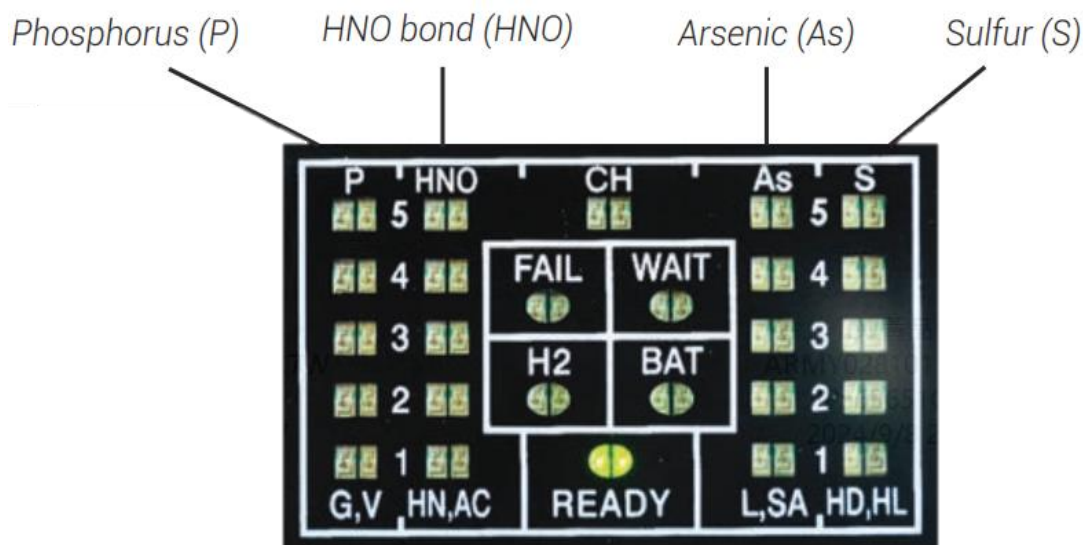
資料來源: <lbfbs Forces News>，2024 年 7 月 30 日，<<http://www.forcesnews.com>>。

圖 13 英軍使用 AP4C Universal Chemical Detector 實施偵檢



資料來源: <lbfbs Forces News>，2024 年 7 月 30 日，<<http://www.forcesnews.com>>。

圖 14 AP4C 顯示面板



資料來源: <AP4C The Universal Chemical Detector>，2024 年 7 月 30 日，<<http://www.proengin.com>>。

表 10 AP4C 諸元性能表

名稱	AP4C Universal Chemical Detector
感測器類型	火焰光譜偵測器
尺寸	38.5 x 10 x 13.8 公分
重量	2.1 公斤
電源供應	一次性電或充電式鋰電池(室溫最長 12 小時)
感測	快速取樣率最低 2 秒 1 次
資料庫	46 種化學戰劑(CWAs)、21 種毒化物(TICs)及第四代化學戰劑等 ⁵ ，不依賴資料庫，可檢測樣品中之金屬元素(可安裝 S4PE 模組對液體、油體及固體取樣蒸發後判讀)
溫度範圍	-32°C至+50°C
認證	通過 MIL-STD 810G 標準認證、堅固型

資料來源: <Proengin>，2024 年 7 月 30 日，<<http://www.proengin.com/en/product/2/chemical-detection/5/ap4c>>。

5.前蘇聯在 20 世紀 70 年代至 90 年代開發之化學戰神經製劑，也稱 NOVICHOKS 諾維喬克或非傳統製劑，為低揮發性神經戰劑。資料擷取自: <U.S Environmental Protection Agency, EPA>，2024 年 7 月 30 日，<http://www.epa.gov>。



(二)法軍第二龍團第7中隊機載機動偵察排⁶，於2023年夜間執行核生化偵察訓練，使用AP4C(如圖15)，偵察可能對部隊造成的化學危害威脅。

圖 15 法軍使用 AP4C 實施偵檢



資料來源:<2e Regiment de Dragons>，2024 年 7 月 30 日，

<<http://youtube.be/oqJV5aLSv-E?si=-lGdjckfxbJoTHLj>>。

(三)法軍第二龍團於2023年拍攝該單位宣傳影片，影片內容為單位人員進入可疑建築物實施偵察，發現疑似為有毒藥劑的化學燒瓶，使用AP4C實施偵檢，偵檢器顯示警報為沙林戰劑(如圖16)，後續偵檢人員進入除汙站進行人員消除，在進入除汙站前使用AP4C對人員實施偵檢(如圖17)。

圖 16 法軍使用 AP4C 對樣品實施偵檢



資料來源: <2e Regiment de Dragons>，2024 年 7 月 30 日，

<<http://youtube.be/oqJV5aLSv-E?si=-lGdjckfxbJoTHLj>>。

6.為核、輻射、生物和化學(NRBC)支援團，唯一應對 NRBC 的陸軍團單位。資料擷取自: <2e regiment de dragons >，2024 年 7 月 30 日，<<http://www.defense.gouv.fr/terre/unites-larmee/terre/nos-brigades/brigade-genie/2e-regiment-dragons>>。

圖 17 法軍使用 AP4C 對人員實施偵檢



資料來源: <2e Regiment de Dragons> , 2024 年 7 月 30 日 ,
<<http://youtube.be/oqJV5aLSv-E?si=-lGdjckfxbJoTHLj>> 。

四、日軍與韓軍

- (一) 日本中央特殊武器防護隊⁷於2023年11月29日至緊急事態管理小隊所屬橫田基地，實施CBRN應對處置訓練技術交流，使用M4 Joint Chemical Agent Detector, JCAD(以下簡稱JCAD)，執行危害物質偵檢(如圖18)，JCAD其前機身具顯示面板，可顯示偵測之化學戰劑種類與概略濃度或毒化物存在(如圖19)，其諸元與性能如表11。

圖 18 日軍使用 JCAD 實施危害物質偵檢



資料來源:<中央特殊武器防護隊 X 官方帳號> , 2024 年 8 月 1 日 ,
<<http://x.com./jsdfgcccncbc?s=21>> 。

7. 實施特殊武器(核生化大規模殺傷武器)防護(偵察、監視及除汙活動)、發煙及反燒夷(滅火)作戰任務。資料擷取自: <中央特殊武器防護隊> , 2024 年 8 月 1 日 , http://sec.mod.go.jp/gsdg/gcc/cnbc/sp/sp2-200-about_us.htm 。



圖 19 JCAD 顯示面板



資料來源:<smithsdetection>，2024 年 8 月 1 日，<www.smithsdetection.com/location>。

表 11 JCAD 諸元性能表

名稱	M4 Joint Chemical Agent Detector, JCAD
感測器類型	離子遷移光譜
尺寸	11 x 18 x 5.08 公分
重量	520 公克
電源供應	AA 鋰鐵硫化物或 AA 鹼性二氧化錳電池(40 小時)
資料庫	神經、血液、糜爛及窒息性戰劑及毒化物(TICs)
溫度範圍	-32°C至+52°C
認證	通過 MIL-STD 810G、MIL-STD 462D 標準認證

資料來源:<IndiaMART>，2024 年 8 月 1 日，<<http://m.indiamart.com/proddetail/chemical-agents-detection-icd-3-2e-16302169591.html>>。

(二)韓國化生放核特殊任務團⁸於2023年拍攝記錄該單位執行平時訓練狀況，針對屋內不明粉末進行偵檢辨識與取樣，後續完成人員消除作業任務，使用AP4C、MultiRAE及Raid-M100Plus執行危害物質偵測(如圖20)，Raid-M100Plus偵測結果可藉機身上方顯示幕得知化學戰劑或毒化物種

8.隸屬大韓民國國軍化生防護司令部，執行國家級與全軍大規模殺傷武器應處和反恐作戰，負責民間、機關及國軍化生放教育，保護大韓民國化生放。資料擷取自:<樹維基나무위키>，2024 年 8 月 1 日，<https://namu.wiki/w/화생방특수임무단>。

類名稱及其概略濃度(1至8格)顯示畫面如圖21，其諸元與性能如表13。

圖 20 韓國軍隊使用 AP4C 及 Raid-M100Plus 執行危害物質偵測



資料來源: <ROK Ministry of National Defence>，2024 年 8 月 1 日，
<<http://youtu.be/cEYW8c9cCSY?si=bXr864o kIJC5RYC0>>。

圖 21 Raid-M100Plus 顯示幕畫面



資料來源: < Bruker Detection >，2024 年 8 月 1 日，
<<https://youtu.be/7tY78cLEkDQ?si=qQpOzcjF6qVaNsx8>>。

表 13 Raid-M100Plus 諸元性能表

名稱	Raid-M100Plus
感測器類型	離子遷移光譜
尺寸	40 x 11.4 x 16.5 公分
重量	3.4 公斤
電源供應	可充電式鋰電池
資料庫	9 種化學戰劑(CWAs)及 5 種毒化物(TICs)



取樣反應時間	<1min
溫度範圍	-30℃至+50℃
認證	通過 MIL-STD 810F、DEF STAN00-35 標準認證

資料來源:<Cbrnetechindex>，2024 年 8 月 1 日，<<http://www.cbrnetechindex.com/Print/4398/bruker-corporation/raid-m100plus>>。

(三)韓國化生放核特殊任務團於2024年3月4日至14日，與民間、機關、警察及消防單位進行24年自由之盾(FS)綜合防衛訓練，最後一日狀況進行有害化學物質炸彈恐怖應變訓練，人員對不明箱體進行偵檢辨識，使用AP4C、MultiRAE及LCD執行危害物質偵測(如圖22)。

圖 22 韓國軍隊使用 AP4C、MultiRAE 及 LCD 執行危害物質偵測



資料來源: <세명일보>，2024 年 8 月 1 日，<<http://m.smnews.co.kr/view.php?idx=226937&referer=>>。

四、中國人民解放軍

2023年8月2日中國央視網發布解放軍防化兵紀錄專欄，介紹防化兵的百寶箱FZD04B型偵毒器，為防化偵查兵的主戰裝備，針對空氣、地面及水源的物體表面，概略測定毒劑之汙染濃度，蒐集空氣及土壤等樣品實施偵檢(如圖23)，其諸元與性能如表14。

圖 23 FZD04B 型偵毒器偵檢



資料來源:<CCTV 國防軍事節目網>，2024 年 8 月 1 日，<<https://tv.cctv.com/2023/08/02/VIDEFANfc3Mi6OcClrWB Ua5S230802.shtml>>。

表 14 FZD04B 型偵毒器諸元性能表

名稱	FZD04B 型偵毒器
感測器類型	化學氣體指示劑管
尺寸	26 x 11 x 17 公分
重量	≤2.7 公斤
電源供應	2Ah 鋰離子電池
資料庫	6 種化學戰劑(CWAs)及 6 種毒化物(TICs)
泵浦抽氣量	在阻力為 100mmHg 時，抽氣流量≥1.5L/min
溫度範圍	-20°C±2°C至+30°C±5°C

資料來源:<北京天涯智達科技發展有限公司>，2024 年 8 月 1 日，<<http://www.tianhuizhida.diytrade.com/sdm/1220167/3/pd-6063288/9816245-2331398/FZD04B型偵毒器.html>>。

五、小結

各國軍隊所使用之偵檢器，其中AP4C使用頻率最高，LCD系列次之。以下為各國偵檢器性能進行比較表，比較結果如表15。



表 15 各國偵檢器性能比較表

裝備名稱	分析原理	資料庫	定性/ 定量	取樣感測時間	鹼性電池使用時間	重量	偵測物質型態
Chem Pro 100i	離子遷移光譜(射源)半導體	10 種化學戰劑(CWAs)及 29 種毒化物(TICs)	可/概略	抽氣流量 1.3 L/min	>12hr	970 g	氣態
PHD6	光游離觸媒燃燒電化學	氧氣、一氧化碳、硫化氫、137 種揮發性有機化合物及 236 種可燃性氣體(依任務需求可更換 19 種氣體感測器)	可/可	抽氣流量 1 L/min	15hr	484 g	氣態
LCD3.3	離子遷移光譜(非射源)	4 種化學戰劑(CWAs)及特定毒化物(TICs)	可/概略	標準模式 5 秒 調查模式 1 秒	75hr	650 g	氣態
LCD4	離子遷移光譜(非射源)	4 種化學戰劑(CWAs)及特定毒化物(TICs)，可擴充 XID 模組對麻醉品、爆炸物和非傳統製劑採樣及檢測	可/概略	標準模式 5 秒 調查模式 1 秒	75hr	580 g	氣態 液體 粉末
RMX	拉曼光譜	爆裂物、化學戰劑(CWAs)、毒化物(TICs)、麻醉品、前體、白色粉末等 NIOSH、CAMEO 資料庫	可/無	最短 5 毫秒	>4hr	919 g	固態 液態 粉末

FTX	傅立葉轉換紅外光 (FTIR) 光譜	爆裂物、毒化物 (TICs)、麻醉品、毒品、前體、白色粉末等	可/無	光譜範圍 4000 cm^{-1} 至 650 cm^{-1}	>4hr	1410 g	固態 液態 粉末
Multi RAE PRO	光游離電化學紅外線	伽馬輻射、超過 25 種可選擇感測器(含光游離感測 VOCs、電化學感測毒化物(TICs)與氧氣、可燃性氣體 EL、紅外線感測二氧化碳)·僅能安裝 6 種感測器(含輻射)	可/可	抽氣流量 250 cc/min	6hr	880 g	氣態
Multi RAE	光游離電化學紅外線	超過 25 種可選擇感測器(含光游離感測 VOCs、電化學感測毒化物 (TICs)與氧氣、可燃性氣體 EL、紅外線感測二氧化碳)·僅能安裝 5 種感測器	可/可	抽氣流量 250 cc/min	6hr	880 g	氣態
AP4C	火焰光譜	46 種化學戰劑 (CWAs)、21 種毒化物(TICs)及第四代化學戰劑等，不依賴資料庫，可檢測樣品中之金屬元素(如磷、砷、硫、鉀、鈉、鈣、HNO 鍵等)	可/概略	最低 2 秒 1 次	12hr	2100 g	氣態、氣溶膠(可安裝 S4PE 模組對液體、油體及固體取



							樣蒸 發後 判讀)
JCAD	離子遷 移光譜 (非射 源)	神經、血液、糜爛 及窒息性戰劑及 毒化物(TICs)	可/ 概略	未知	40hr	520 g	氣態
Raid- M100 Plus	離子遷 移光譜 (射源 或非射 源)	9 種化學戰劑 (CWAs)及 5 種毒 化物(TICs)	可/ 概略	<1min	未知	3400 g	氣態
FZD 04B	指示劑 管	6 種化學戰劑 (CWAs)及 6 種毒 化物(TICs)	可/ 概略	抽氣流 量 ≥1.5L/ min	未知	≤270 0g	氣態

資料來源:作者自行整理。

綜整及比較各國軍隊手持式偵檢器，具 9 種不同感測分析原理，其中 PHD6、MultiRAE PRO 及 MultiRAE 三種偵檢器主要作為偵測作業環境中氧氣、特定氣體、可燃性氣體及揮發性有機化合物之感測器功能取向，其餘偵檢器針對化學戰劑及毒化物偵測為主，上述三者可取得待測樣品之定量資訊，另 RMX 及 FTX 可對固態、液態或粉末之樣品實施偵檢，AP4C 可對於氣溶膠型態之樣品實施偵檢。

建議事項

- 一、手持式偵檢裝備已使用十餘年，因服役時間長且科技亦趨成熟，隨著科技的發展及關鍵技術的突破，裝備性能與功能已有大幅度之提升，建議可納入未來裝備提升與建置之參考(如表16)。

表 16 具化學戰劑及毒性化學物質資料庫之偵檢器參考表

裝備 名稱	Chem Pro 100i	LCD 3.3	LCD 4	RMX	FTX	AP4C	JCA D	Rai dM 100 Plus	FZD 04B
----------	---------------------	------------	----------	-----	-----	------	----------	--------------------------	------------



資料庫	10CW As 29TIC s	4CW As 特定 TICs	4CWAs 特定 TICs 擴充 XID 模 組(麻醉 品、爆炸 物和非 傳統製 劑)	爆裂物 (CWAs) (TICs) 麻醉品 前體、白 色粉末 等 NIOSH CAME O 資料庫	爆裂物 、 TICs、 麻醉品 、毒品 前體、 白色粉 末等	46CW As 21TIC s 4thC WAs	CW As TICs	9C WA s 5TI Cs	6CW As 6TIC s
定性 /定量	可/ 概略	可/ 概略	可/概略	可/無	可/無	可/ 概略	可/ 概略	可/ 概略	可/ 概略
取樣 型態	氣體	氣體	氣體 液體 粉末	固體 液體 氣體	固體 液體 氣體	氣體 氣溶膠	氣體	氣體	氣體
反應 時間	抽氣 流量 1.3 L/min	標準 模式 5s 調查 模式 1s	標準模 式 5s 調查模 式 1s	最短 5 毫秒	光譜範 圍 4000c m ⁻¹ 至 650c m ⁻¹	最低 2s1 次	未知	<1 min	抽氣 流量 ≥1.5 L/mi n
射源	V(Am -241)	X	X	X	X	X	X	V(Ni -63) /X	X
重量	970g	650g	580 g	919g	1410g	2100g	520 g	340 0g	2700 g
電池使 用時間	>12hr	75hr	75hr	>4hr	>4hr	12hr	40hr	未知	未知

資料來源:作者自行整理。

二、針對以提供偵檢班在執行任務時，能即時監測作業環境中的氧氣及可燃性氣體濃度，作為防護等級選擇及排除危險因子之依據的偵檢器，另可評估地區運作量較高之氣體選配適宜之感測器(如表17)。



表17 具氧氣、可燃性氣體及揮發性有機化合物之偵檢器參考表

裝備名稱	PHD6	MultiRAE PRO	MultiRAE
資料庫	O ₂ 、CO、H ₂ S、137(VOCs)、236(ELs)依任務需求可更換 19 種氣體感測器)	γ、VOCs、TICs、O ₂ ELs、CO ₂ (含輻射感測器最多 6 種)	VOCs、TICs、O ₂ ELs、CO ₂ (含輻射感測器最多 5 種)
定性/定量	可/可	可/可	可/可
抽氣流量	抽氣流量 1L/min	抽氣流量 250cc/min	抽氣流量 250cc/min
重量	488g	880g	880g
鋰電池/鹼性電池使用時間	22hr/ 15hr	18hr/ 6hr	18hr/ 6hr

資料來源:作者自行整理。

三、化學戰劑毒化物的危害不僅侷限於氣態，現在如遇固體、液體等危害汙染時，僅能實施取樣待後送檢驗，故具備能偵檢之功能是有其必要性，在未來裝備採購上可選擇具偵檢固體、液體等危害樣品之偵檢器(如表18)，另外AP4C使用之火焰光譜感測原理，可偵測金屬元素之存在，因大多數之化學戰劑及危險物質中成分具有磷、砷等金屬元素。

表18 具偵檢固體、液體等危害樣品之偵檢器參考表

裝備名稱	RMX	FTX	AP4C
資料庫	爆裂物、(CWAs)、(TICs)、麻醉品、前體、白色粉末等 NIOSH、CAMEO 資料庫	爆裂物、TICs、麻醉品、毒品、前體、白色粉末等	46(CWAs)、21(TICs) 4 th CWAs 可檢測樣品中之金屬元素(可安裝 S4PE 模組對液體、油體及固體取樣蒸發後判讀)
定性/定量	可/無	可/無	可/概略
反應時間/光譜範圍	最短 5 毫秒	光譜範圍 4000cm ⁻¹ 至 650cm ⁻¹	最低 2s 1 次
重量	919g	1410g	2100g
電池使用時間	>4hr	>4hr	12hr

資料來源:作者自行整理。



結語

國軍化學兵執行戰時核生化任務或平時化生放核災害救援作業時，所運用之手持式偵檢裝備之感測原理及效能是否適宜現場實需，攸關任務成效。因此，掌握裝備發展趨勢、跟隨科技進步與關鍵技術突破，將有助於提升偵檢效能，使手持式偵檢裝備有效支援部隊執行任務。希望藉本次研究作為未來偵檢裝備運用與化學氣體偵檢器添購之參考，進而強化部隊在面對多元環境下應變與整體運用效能。

參考文獻

- 1.國防部陸軍司令部，《陸軍化學兵專用裝備操作手冊》(桃園：國防部軍備局第 401 廠北部印製所，民國 106 年 11 月)，第三章第六節。
- 2.國防部陸軍司令部，《陸軍 PHD6 氣體偵測器操作手冊(第一版)》(桃園：國防部軍備局第 401 廠北部印製所，民國 103 年 9 月)，第二、三章。
- 3.國防部陸軍司令部，《陸軍化學兵偵消部隊訓練教範》(桃園：國防部軍備局第 401 廠北部印製所，民國 110 年 11 月)，第三章。
- 4.<ChemPro®100i Handheld Chemical Detector>，2024 年 7 月 29 日，<www.environics.fi>。
- 5.<U.S. ARMY>，2024 年 7 月 29 日，<http://army.mil/Article-amp/275891/fort_drum_new_york_based_team_Wins_at_my_explosive+ordnance_disposal_competition>。
- 6.<U.S. Department of Defence>，2024 年 6 月 1 日，<<http://www.dvidshub.net/image/8218049/3d-eod-team-year-competition>>。
- 7.<David Dunlap>，2024 年 7 月 29 日，<<https://youtu.be/C79gD2g7gCk?si=515BnnttxS3LURPu>>。
- 8.<manualslib>，<<https://www.manualslib.com/manual/2074305/Smiths-Detection-Lcd-3-3.html?page=9#manual>>。
- 9.<Smiths detection>，2024 年 7 月 15 日，<<http://www.Smithsdetection.com/loctions>>。
- 10.<fortleonardwood Instrgram>，2024 年 6 月 1 日，<<http://www.inst>>。



rgram.com/fort leonard wood?igsh=MXZ4cjAyZjBveDNvaQ==>。

- 11.<Ken' s Safety Instrumentation Videos>，2024 年 7 月 29 日，<<https://youtu.be/n7Nm6QUNSEQ?si=3iO-SHXN2kTyegUK>>。
- 12.<MultiRAE Series User' s Guide>，2024 年 7 月 29 日，<www.raesystems.com>。
- 13.<U.S. ARMY>，2024 年 7 月 25 日，<http://army.mil/Article-amp/275891/fort_drum_new_york_based_team_wins_at_my_explosive+ordnance_disposal_competition>。
- 14.<U.S. ARMY>，2024 年 7 月 25 日，<http://army.mil/article-amp/277047/fort_drum_team_takes_top_spot_at_2024_international_best_cbrn_warrior_competition>。
- 15.<AZOMaterials>，2024 年 7 月 15 日，<<http://www.azom.Com/equipment>>。
- 16.<Thermo>，2024 年 7 月 15 日，<<http://www.tools.thermofisher.com/contents/sfs/brochures/TruDefender-FTX-HazChem-SpecSheet.pdf>>。
- 17.<HoneyWellPAE>，2024 年 7 月 29 日，<https://prod-edam.honeywell.com/content/dam/honeywell-edam/sps/his/en-us/products/gas-and-flame-detection/documents/Datasheet_MutilRAE20Pro_DS-1068-11_US-EN_LR.pdf>。
- 18.<slideshare>，2024 年 7 月 15 日，<http://www.Slideshare.net/slide-show/raesystems-multirae-protable-gas-detectors-brochure/46224166>>。
- 19.<U.S. ARMY>，2024 年 7 月 25 日，<<http://shape.nato.int/about/accapabilities2/nato-multinational-chemical-biological-radiological-and-nuclear-defence-battalion>>。
- 20.<U.S. ARMY>，2024 年 7 月 25 日，<http://army.mil/article-amp/269008/nato_troops_complete_live_agent_cbrn_training_at_exercise_percise_reponse_in_canada>。



- 21.<Ibfb Forces News> , 2024 年 6 月 1 日 ,
<http://www.forcesnews.com> > 。
- 22.<AP4C The Universal Chemical Detector> , 2024 年 7 月 30 日 , <<http://www.proengin.com>> 。
- 23.<Proengin> , 2024 年 7 月 15 日 , <<http://www.proengin.com/en/product/2/chemical-detection/5/ap4c>> 。
- 24.<U.S Environmental Protection Agency, EPA> , 2024 年 7 月 25 日 ,
<<http://www.epa.gov>> 。
- 25.<2e regiment de dragons > , 2024 年 7 月 25 日 , <<http://www.defense.gouv.fr/terre/unites-larmee-terre/nos-brigades/brigade-genie/2e-regiment-dragons>> 。
- 26.<2e Regiment de Dragons> , 2024 年 6 月 1 日 , <<http://youtube.be/oqJV5aLSv-E?si=-lGdjckfxbJoTHLj>> 。
- 27.<IndiaMART> , 2024 年 7 月 15 日 , <<http://m.indiamart.com/prod-detail/chemical-agents-detection-icd-3-2e-16302169591.html>> 。
- 28.<中央特殊武器防護隊> , 2024 年 7 月 25 日 , <http://sec.mod.go.jp/gsdf/gcc/cnbc/sp/sp2-200-about_us.htm> 。
- 29.<Bruker> , 2024 年 7 月 15 日 , <<http://www.bruker.com/pt/products-and-solutions/cbrne-detectors/ft-ir/rapid-plus.html>> 。
- 30.<ROK Ministry of National Defence> , 2024 年 6 月 1 日 , <<http://youtube/cEYW8c9cCSY?si=bXr864okIJC5RYC0>> 。
- 31.< Bruker Detection > , 2024 年 8 月 1 日 , <<https://youtu.be/7tY78cLEkDQ?si=qQpOzcjF6qVaNsx8>> 。
- 32.<樹維基나무위키> , 2024 年 7 月 25 日 , <<https://namu.wiki/w/화생방특수임무단>> 。
- 33.<Cbrnetechindex> , 2024 年 7 月 15 日 , <<http://www.cbrneTechIndex.com/Print/4398/bruker-corporation/raid-m100plus>> 。
- 34.<세명일보> , 2024 年 6 月 1 日 , <<http://m.smnews.co.kr/view.php?idx>> 。



=226937&referer=>。

- 35.< CCTV 國防軍事節目網>，2024 年 6 月 1 日，<<https://tv.cctv.com/2023/08/02/VIDEFANfc3Mi6OcClrWBUa5S230802.shtml>>。
- 36.<北京天滙智達科技發展有限公司>，2024 年 7 月 15 日，<[http://www.tianhuizhidadiytrade.com/sdm/1220167/3/pd-6063288/9816245-2331398/FZD04B 型偵毒器.html](http://www.tianhuizhidadiytrade.com/sdm/1220167/3/pd-6063288/9816245-2331398/FZD04B型偵毒器.html)>。
- 37.<CDC>，2024 年 7 月 25 日，<<http://www.cdc.gov/niosh/about/index.html>>。
- 38.<CDC>，2024 年 7 月 25 日，<<http://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/chemical-spills/chemical-reactivity-worksheet>>。