

毒化物氣體採樣技術探討

作者簡介

作者黃鈺棠上尉，畢業於中正理工學院應用化學系 95 年班，歷任排長、化學督導官，現職為本校核生化防護研究中心核生化戰防護官。

提要

- 一、直讀式（攜帶式）偵檢裝備有其偵測極限及使用限制，運用於災害現場毒化物種類辨識時有所限制，須仰賴完善之採樣技術，後送至實驗室進行分析檢測作業。
- 二、進行毒化物精準確認，常須將採樣樣品後送至實驗室執行精密分析作業，確定直讀式（攜帶式）偵檢裝備檢測結果。
- 三、執行空氣採樣作業時，具有數種採樣裝備及方法選擇，依任務需求選擇合適之採樣技術，方能獲得正確之分析結果。

關鍵字：毒化物、採樣技術、氣體採樣、核生化偵檢、核生化取樣

前言

化學兵為戰鬥支援兵種，執行軍事核生化防衛作戰、準軍事反恐制變應急任務及非軍事災害應援之核生化偵檢（測）、消除、檢驗、煙幕及縱火等任務，並指導各部隊完成核生化防護。¹平時依災害防救法等法規，協助地方政府執行作戰區核化災害應援偵消作業、生物病原災害消毒防疫作業及化生放核反恐應援任務，故具有國家核生化防衛、反恐制變及災害防救之任務，故化學兵部隊於平戰時須具備能執行化學戰劑偵檢、危害物鑑定及污染物除污等作業能力。

面對各種災害應變處理，除了強調人員安全防護外，最重要的是危害物辨識，唯有正確辨識出危害物種類後，才能擬定合理之配套應變措施。然而直讀式（攜帶式）偵檢裝備有其偵測極限及使用限制，運用在災害現場，執行毒化物種類辨識有所限制，便須運用採樣裝備及技術，將樣品送至實驗室，進一步運用精密儀器執行分析作業。

因此本研究以不同形式之空氣採樣裝備進行測試比較，探討採樣裝備之間差異性，進而研究最佳使用時機及應用方式。

空氣採樣技術、裝備及分析儀器介紹

一、空氣採樣技術：

空氣污染物依型態之不同，可分為粒狀污染物及氣狀污染物等兩大類；依採樣設備種類，可分為化學分析法及連續自動分析法。如圖1,2所示：

1 國防部頒，《國軍化學兵部隊指揮教則》（台北：軍備局生產製造中心，2008 年），頁 1-1。

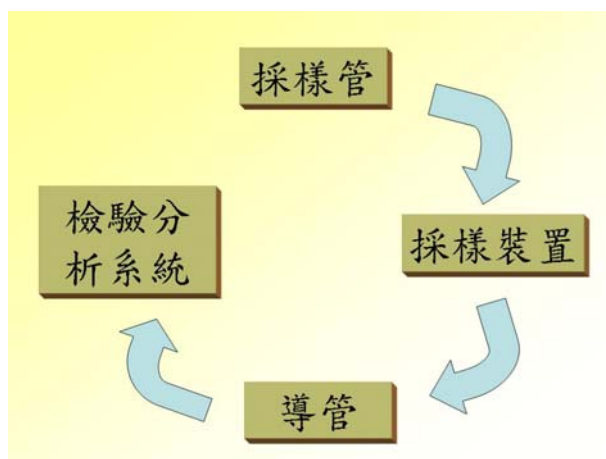


圖 1 化學分析法示意圖

資料來源：作者自繪

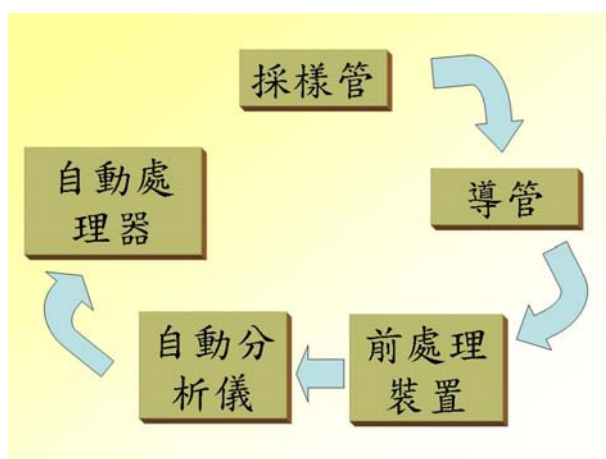


圖 2 連續自動分析法示意圖

資料來源：作者自繪

依採樣技術之種類大約可分為採樣袋採樣法等5種，如后所列示：

- (一)採樣袋採樣法：利用壓力原理慢慢地將空氣樣品吸入至採氣袋內，此種採樣方式容易造成器壁吸附現象發生，進而造成漏失所引起之負誤差，故採樣袋內試樣樣品應避免日光或高溫直射，並儘速後送至實驗室進行分析檢測作業。
- (二)吸附劑採樣法：最普遍應用吸附劑原理之裝備為空氣吸附管，因吸附管內部，填充吸附劑材質之不同，對氣體樣品有不同程度吸附效益之影響，而影響吸附劑補集樣品效率之兩大因素：
 - 1.採樣環境：如流速、空氣的溫度及濕度等因素。
 - 2.吸附劑材質：如表面積大小、粒子大小、孔洞大小、溶質的溶解量、吸附機構與溶質親合力的程度。
- (三)真空瓶採樣法：進行採樣作業前，須先將真空瓶內部抽成真空，於採樣現場打開閥門，使氣體污染物因壓差而充滿瓶內，完成採樣後關上閥門

即可；或者運用一般採樣瓶進行採樣作業時，把進氣的閥門打開，採樣完畢關上進氣閥門即可。如果氣體樣品濃度高，可使用注射針直接抽取適量的氣體樣品，再利用儀器分析。

(四)吸收液採樣法：吸收液採樣法是使空氣樣品以起泡方式通過吸收液，使空氣樣品中之化學物質被吸收液所收集。吸收液是裝在吸收瓶中，吸收瓶可串聯固定於採樣裝置，採樣管內之空氣可利用分路先以氣體樣品置換之，再開始通氣採樣。

(五)過濾器收集固態粒法：使用過濾器收集空氣中的微粒，如灰（Dusts）、煙（Fumes）、霧（Mists）和浮質（Aerosols）。這些微粒子經收集後，可以使用重量分析或萃取方法，測定其中的污染物。

二、採樣裝備：

(一)空氣採樣袋(如圖 3)：空氣採樣袋是目前除了活性碳吸附管外，用途最廣且使用最多之空氣直接採樣之介質，運用正、負壓方式，經由泵浦直接引入或藉由真空採樣箱方式捕集空氣，有多種不同容積與接頭的選擇，可依採集需要特別訂製。除了本次實驗所使用之高品質採樣袋外，亦有針對遇光敏感會分解或變化（Light-Sensitive Compounds）之黑色空氣採樣袋及適用於低分子量化合物之鋁箔空氣採樣袋等。



圖 3 各類型空氣採樣袋

資料來源：柯安企業網頁。

(二)空氣吸附管（如圖 4、5）：吸附管是經 NIOSH/OSHA 認可，可從空氣中收集大部份有害氣體與蒸氣。大部分管內吸附劑分兩段，前一段用來收集樣品，後一段為輔助作用，中間具有分隔物質。此設計目的，為查證前段吸附劑（Primary Sorbent Bed）是否超過吸附飽和量，以確保完全吸附採樣空氣中的化學危害物質。然而空氣吸附管因填充吸附劑之不同，有相當多種樣式可供選擇，然而各樣式之空氣吸附管僅會對特定之毒化物有較佳之吸附效果。



圖 4 空氣吸附管及熱脫附儀器設備

資料來源：作者拍攝



圖 5 99 式核生化偵檢車配賦之空氣吸附管及手動泵浦

資料來源：作者拍攝

(三)真空不銹鋼瓶（如圖 6）：真空不銹鋼瓶為一被動式採樣裝備，為採樣過程中最簡易之裝備，體積容量為 6 公升。使用前須先將真空不銹鋼瓶內部完成真空，在進行採樣作業時，僅須將旋鈕閥開啟，即會因壓力平衡而自動抽氣至穩定狀態。



圖 6 真空不銹鋼瓶

資料來源：作者拍攝

三、分析儀器：

氣相層析儀（GC）（如圖 7）：為利用氣體作為移動相之層析方法，其中

載流氣體僅扮演攜帶功能並不具分離效果。氣相層析主要分離之功能由管柱材質及管柱溫度所決定，依管柱性質可區分為：氣液相層析（GLC）及氣固相層析（GSC）。氣相層析儀可搭配感測器包含熱傳導度感測器（TCD）、火燄離子化感測器（FID）、電子捕捉感測器（ECD）、氮磷感測器（NPD）、火燄光度感測器（FPD）、質譜儀（MS）等，依所需分析樣品之結構或性質之差異去選擇感測器，通常分析化學戰劑常使用感測器為氮磷偵檢器、火焰光度感測器及質譜儀。²

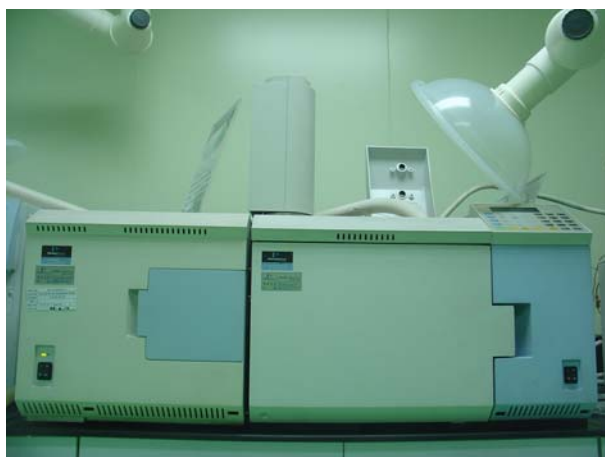


圖 7 氣相層析質譜儀
資料來源：作者拍攝

實驗設計

一、藥品配置（如圖8）：

本研究使用 5 種具高揮發性有機毒化物進行實驗，分別為乙腈、二硫化碳、二氯甲烷、三氯甲烷及環氧氯丙烷，亦為工業上常用之原料，為確保實驗安全及降低實驗風險，濃度採用「物質安全資料表」所表列的 8 小時日時量平均容許濃度（TWA-ppm）為標準。³



圖 8 進行藥品配置作業
資料來源：作者拍攝

² Autosystem Operating Manual，PerkinElmer™ Instruments。

³ 行政院環保署，列管毒化物危害資料 98 年版。

二、樣品採樣：

(一)為能有效控制本次實驗中欲採集之污染物氣體濃度，設定採樣環境在手套箱進行採樣作業，將欲採樣之毒化物於手套箱內待其完全揮發後，方進行採樣作業。

(二)採樣流程：

1.空氣採樣袋：本研究使用高品質採樣袋搭配空氣泵浦實施採樣作業，分析時可運用Minican或氣密針抽取樣品，進樣後運用精密儀器實施分析檢測作業。⁴（如圖9）

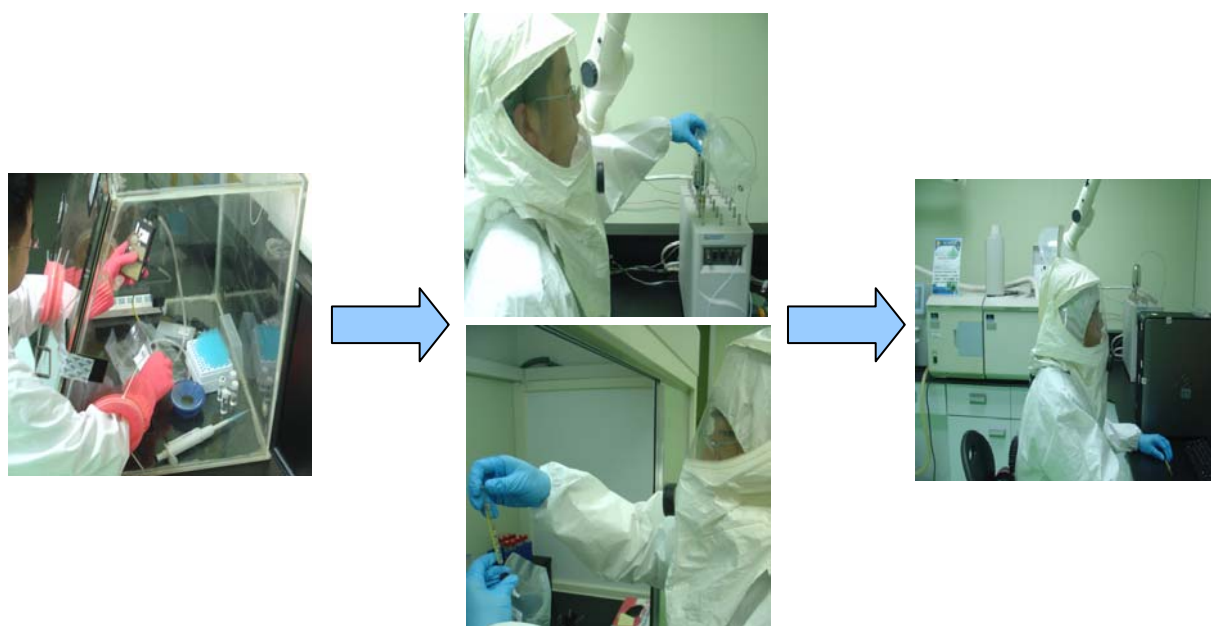


圖 9 運用空氣採樣袋檢驗流程

資料來源：作者拍攝

2.空氣吸附管：使用偵檢車之手動泵浦搭配空氣吸附管進行採樣，完成採樣運用熱脫附儀將內部吸附毒性化學物質脫附，進樣後運用精密儀器實施分析檢測作業。⁵（如圖10）



圖 10 運用空氣吸附管檢驗流程

資料來源：作者拍攝

⁴ 7032A-L Minican Autosampler User's Guide, ENTECH Instruments。

⁵ TurboMatrix ATD/TD Operating Manual, PerkinElmer™ Instruments。

3.真空不銹鋼瓶：使用真空不銹鋼瓶前須運用儀器設備，將內部清洗後完成真空作業，在採樣現場直接打開旋鈕閥即可進行採樣作業，隨後運用Minican進樣後，運用精密儀器實施分析檢測作業。(如圖11)

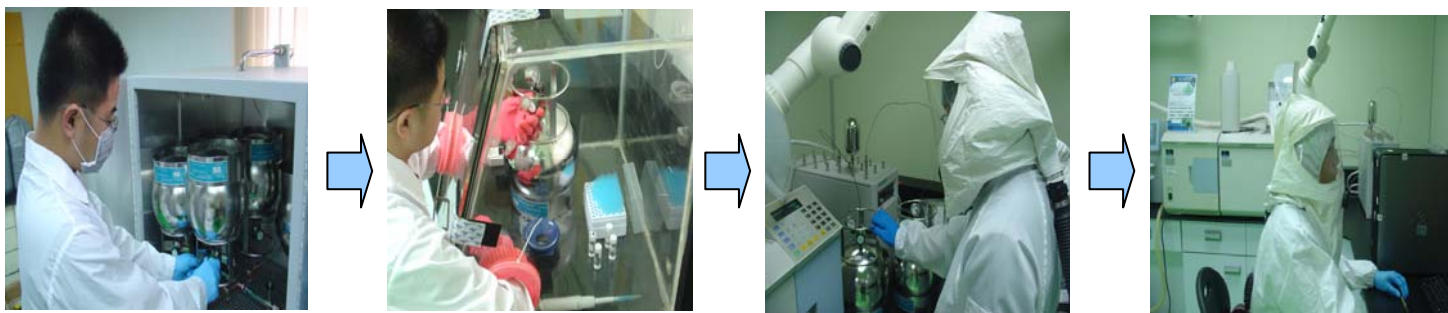


圖 11 運用真空不銹鋼瓶檢驗流程

資料來源：作者拍攝

三、儀器檢測：

為使分析結果有一致性，研究過程使用 PerkinElmer 氣相層析質譜儀執行分析，並於執行分析檢測作業前，以標準品測試及調整儀器最佳參數，確保分析準確性。

四、儀器檢測：

完成各項毒化物分析檢測作業後，以圖譜來研判各項空氣採樣裝備之採集效率何者較佳。(如圖 12)

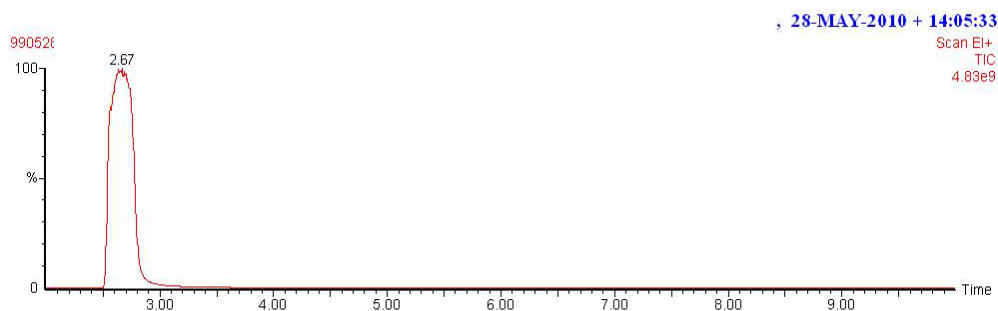


圖 12 二氯甲烷分析圖譜

資料來源：作者檢測繪製

實驗結果及特性討論

一、實驗結果：

分析檢測結果顯示，在定性方面，所使用的空氣採樣裝備，在運用 PerkinElmer 氣相層析質譜儀完成分析後，能有效地辨識出各種毒化物類別。在定量方面，於壓力及溫度為定值的環境中，探討毒化物進樣量與偵測圖譜之積分面積大小進行比較，在進樣量為 1 公升的情況下，進而研討採集效率之高低，積分面積比較如圖 13 所示：

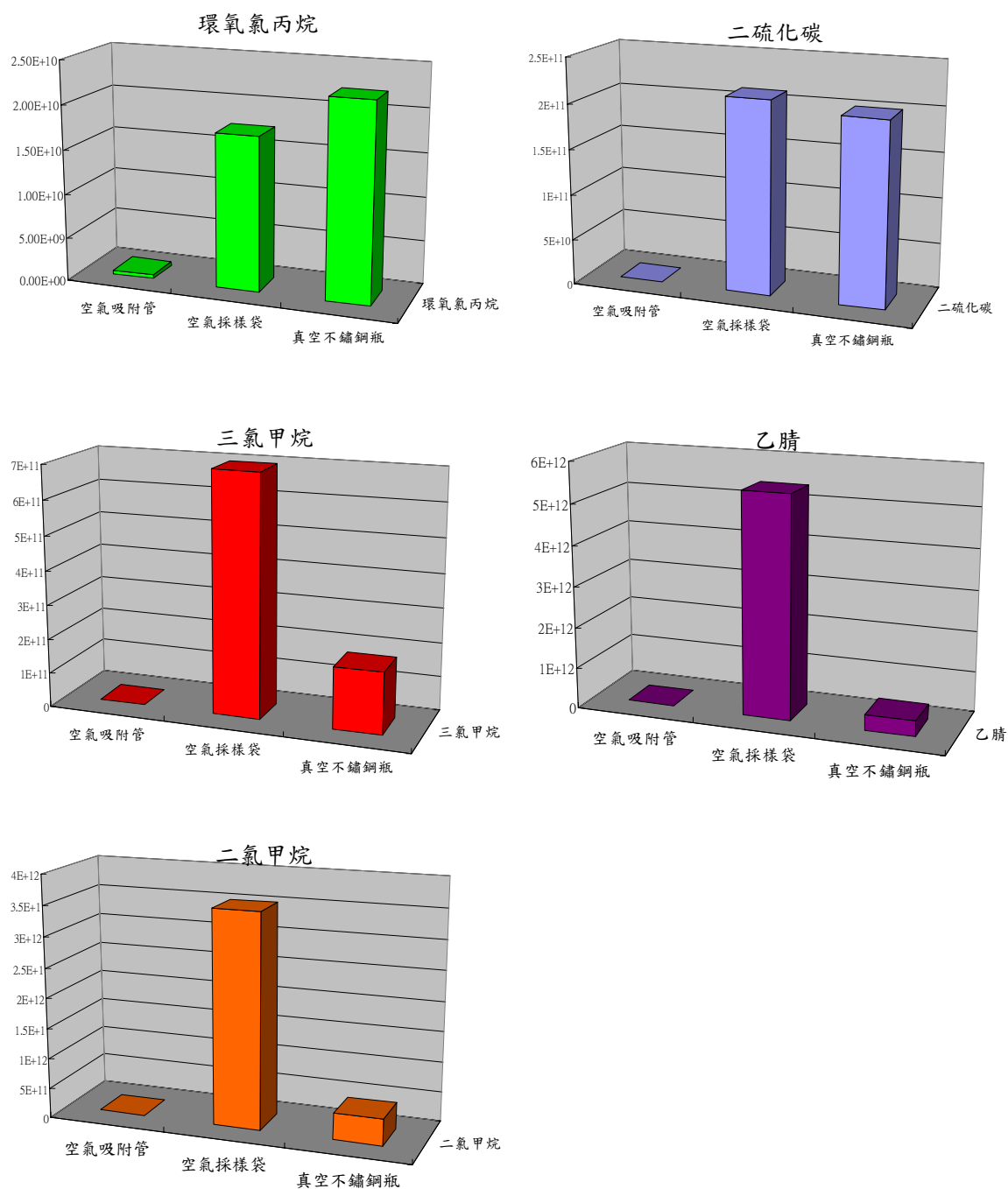


圖 13 氣體採樣裝備採集效益比較圖

資料來源：作者檢測繪製

綜合上述各項毒化物採集效益比較圖探討，所使用的三項氣體採樣裝備，以空氣採樣袋的表現為最佳，真空不鏽鋼瓶次之，而空氣吸附管的採集效益較差。

二、採樣裝備特性：

(一)空氣採樣袋：空氣採樣袋除了易攜帶外，其短時間貯存之損失率相對表現良好，若能搭配完整之後送作業程序，將有利於短時間內正確判斷現

場空氣之物質，進而獲得正確分析數據，可列為未來部隊運用優先考量。

(三)空氣吸附管：空氣吸附管因填充吸附劑不同，僅會對特定之毒化物有較佳吸附效果，在進行採樣作業時，若無正確選擇吸附管款式，將對後續分析檢測結果影響甚大，唯有正確的樣品採集，才能獲得良好分析結果。若運用於部隊中，須完整兵要資料加以輔助，方能於災害現場採集到良好樣品。

(三)真空不銹鋼瓶：為採樣過程中最簡易之裝備，然而真空不銹鋼瓶的體積較大，重量亦最重，就攜帶便利性便大打折扣。進行採樣作業前，須先將內部進行氮氣吹氣清洗及真空作業，若清洗不完全，將會影響後續分析檢測作業，就便利性及準備過程，較不建議未來部隊配賦用。

結語

在現今毒化災事件頻傳的社會中，持續考驗著政府機關對於化學災害緊急應變處理的能力。而國軍化學兵部隊在核生化災害應變處理領域中亦扮演著極為重要的角色，近年來除了積極參加各項演習、演練外，並向環保署、消防署等組織機構進行諮詢與協助，使化學兵部隊災害防救能量日趨完整，也增強了應變處理能力。

未來化學兵部隊空氣採樣裝備，目前規劃以空氣採樣泵浦搭配濾紙、採樣袋或活性碳吸附管等兩項採樣方式。經本研究實驗結果證實均為可行採樣方法，本研究成果可作為未來化學兵部隊執行毒化物空氣採樣作業之參考。在偵測及防護技術已具完整規模性的化學兵部隊，未來在採樣裝備及技術完整建置後，便使化學兵執行應援作業之偵(檢)測作業步驟更趨完善，精進化學兵部隊整體作業能力。