

化學戰劑遠距遙測技術之發展與運用研析

作者簡介

作者尤進洲少校，陸軍官校正 62 期畢業、私立輔仁大學化學所分析化學組博士候選人；歷任排長、連長，教官，現任職於陸軍司令部化兵處。

提要

- 一、在微型、多工與整合化的發展趨勢下，新一代遠距遙測技術已由點、線、面的發展，邁向三維立體化發展，期藉本文所述未來發展趨勢，提供具前瞻性的監偵技術，以肆應未來戰劑與毒化災監偵作業之專業水準，提升核生化防護之監偵能量。
- 二、遠距遙測受限於被動式紅外光遙測技術發展，除能鑑定毒劑成分與濃度外，僅能提供有限度的距離與毒劑雲方位角，無法直接偵知毒劑位置，另其偵測角度易受地面熱源與障礙物干擾，且因所偵測之訊號為毒劑雲之縱深平均值，無法顯示特定污染源之濃度，運用時應彈性調整，詳加考量。
- 三、遠距遙測技術不僅可取代點測式化學戰劑偵檢器預警之功能，拉大防護縱深、爭取預警時效；在軍事用途可伴隨部隊機動予靈活運用；更能發揮支援反恐偵檢及毒化災應援作業與環境污染監控等功效，本軍如能爭取建構長時間、多面向防護預警網路架構，將能顯著提升化學戰預警效益，如欲發展核生化防護四大核心能力，當深入瞭解其發展趨勢與運用價值。

壹、前言

隨著稠化、複合戰劑、二元性等新型態化學戰劑的研發與投射、散布技術的多元發展（註1, 2, 3），及工業化災毒性化學物質與恐怖分子生、化武器攻擊的多重潛存威脅下，各國對化學戰劑監偵技術的開發，已朝向微型化、多工化整合發展，大幅邁向新的里程碑，特別是遠距遙測技術，更朝向三維立體化發展。由於作業人員不須穿戴高度防護裝備，即可在未暴露於毒劑的環境前，迅速偵知毒劑種類、概略濃度與界定污染範圍等相關資訊，並能伴隨部隊機動，提供即時預警與污染監控，省卻人員置身毒區執行偵檢作業之困擾，對大面積染毒範圍之監測，具有更快速的範圍量測與監控工具，因此各先進國家莫不對遠距遙測技術發展，懷有高度期望。面對此一發展趨勢，本軍化學兵偵消部隊，不僅極須強化現行戰劑的偵檢能力與裝備，更應著手規劃具有遠距遙測能力的監偵技術，建構完善的遠距遙測能力，始能因應未來威脅。

貳、化學戰劑未來發展趨勢：

註1 鍾堅著，「公元 2010 年中共核生化戰力及對我危害評估」，《全民核生化防護研討會論文集》，陸軍總司令部印編，民國 89 年 4 月。

註2 嚴定萍，「未來化毒發展趨勢與我國因應之道」，全民核生化防護研討會，陸軍總司令部印編，民國 89 年 4 月。

註3 殷天爵著，「拒絕毀滅：大規模毀滅性武器預防與因應」，時英出版社，民國九十四年五月。

一、開發新型戰劑，合成毒素、非致命性與喪能性化武：

突破化武公約限制，如採二元混合運用，將毒性較低的 2 種以上成分，或多種毒劑相容的戰劑混合，依任務需求製造合成，除確保製造、儲存、運送之安全，並可規避查核責任。如新型失能劑EA3834 與添加劑EA4923 配合使用，可經皮膚與呼吸系統雙效吸收，失能作用較BZ為高；另如研製使武器裝備失效及各種裝備故障或達裝備設施喪失功能目的之各種戰劑(註4)。

二、提高毒性，增加防護困難：

利用未受化學品進出口管制限制之各種劇毒性前驅物質，如雙環磷酸亞酯、矽雜氮三環烷類等，經置換化合物之官能基，製備毒效不一的毒劑。如全氟異丁烯為窒息性毒劑，另六氟二甲基二硫，則由較無毒性之硫代三氟氣甲烷遇活性碳後生成，上述 2 種新型毒劑可穿透防護面具之濾毒層，凡此毒劑，將益增化學防護之困難度。

三、改善毒劑散布技術與方法：

克服毒劑揮發性與穩定性限制，改善毒劑散布技術與方法與布毒時效技術之研發。包括：非爆炸型氣(霧)化、微胞膠囊分散、超細分散與低溫燃燒等技術，均可提供化毒多重選擇，提昇化毒散布效果與範圍，值得注意的是利用微胞調控毒劑分解時效，將更能掌握戰場布毒效益！

四、結合投射系統實施精準打擊：

以常規武器投射化學彈藥，如單一化學彈頭可配合多種武器投擲，在新型態毒劑研製的同時，加強化武投射系統，提供精確打擊的工具，使化武投射密度提高，投射系統通用程度提昇及目標精確打擊，是化武研發的另一重要趨勢。

從化武發展趨勢與近年獲高度重視的「超限戰(註5)」、「三非作戰(註6)」等戰法研析，在「損小、效高、快打、速決」的作戰策略下，預判未來戰場上，具「速效、喪能、可調控」的化武，將形成未來我軍化武防護最大的威脅。此外，隨著核生化反恐議題不斷升高、工業化災與環境污染問題日益嚴重，如何有效預防及控管污染，亦成為我反恐應變與災害防救的重要課題。因此，為肆應此一趨勢發展，除持續精進我軍偵檢作業執行分析研判之點測式裝備與技術外，另一方面則應及早著手發展遠距遙測技術，俾利建構完備的核生化監偵核

註4 武器裝備失效劑：如金屬脆化劑、塑膠脆化劑、光學破壞劑、油料劣化劑、彈藥脆化劑、阻絕劑等迫使車輛、彈藥、油料及各種裝備故障或無法發揮效能；設施破壞劑如：擾亂敵方交通和基礎建設設施的破壞劑、超滑劑、泡沫劑，使鐵公路、機場設施無法使用，達裝備設施喪失功能之目的。

註5 喬良、王湘穗，《超限戰，對全球化時代戰爭與戰法的想定》，（北京，解放軍文藝出版社），1999 年 9 月。

註6 解放軍軍事科學外軍部室主任王保存著，「三非作戰」引領現代化戰爭，《環球時報》，2003 年 12 月 8 日。

心能力。

參、紅外光遠距遙測技術原理淺述（註7, 8）

當電磁輻射通過待測物時，由於分子的振動，部分頻率的光會為其所吸收，且每種分子吸收特定頻率之光線，具有其獨特之“指紋”，而待測物分子濃度高低與其所形成之紅外光吸收光譜強度成正比，因此，可作為定性與定量分析量測之工具。紅外光遙測技術因偵測目的不同而儀器設計組態互異，如針對單一化合物的濾鏡式偵測技術（gas filter correlation technique）；利用天然光源（太陽光、燃燒物體）的被動式（passive）遙測技術；利用自發光源的主動式長光徑（long-path）紅外光偵測儀及利用多重反射（multi-path）原理將氣體導入測試腔或開放光徑的量測技術等，有關各種儀器的設計原理研究歸納如下：

一、濾鏡式紅外光偵測技術

此種技術主要運用濾光鏡片將紅外線光源過濾為某一波長區段，並利用開放光徑（open path），直接量測氣體中特定的化合物含量（如一氧化碳），濾鏡式紅外光偵測技術雖只能針對某種特定的化合物進行量測（如圖一所示），缺少如傅立葉紅外光偵測技術中，同時可作多種化合物測試的特點，但其方法簡單、測試反應快速，較適合於單純環境下氣體的量測，且可立即獲知濃度變化趨勢。

二、密閉測試腔式傅立葉紅外光偵測技術（FTIR gas cell system）

長光徑測試腔早於1974年即已加裝於IR上用來測試氣體中污染物的成分及濃度。此種裝置利用多重反射鏡片，使紅外光在測試腔中來回反射，最後射入偵檢器，據以測定光吸收度或穿透率。利用調節反射鏡的大小及位置，可使光線於測試腔內來回反射（往覆測定）數十次，因此可在短徑測試腔中，建立與長光徑紅外光遙測相同的效果。由於此種方式可將配製之各種標準物或未知物導入測試腔進行比對分析，因此亦被廣泛用作紅外光遙測技術定量、定性準確度評估的研究。

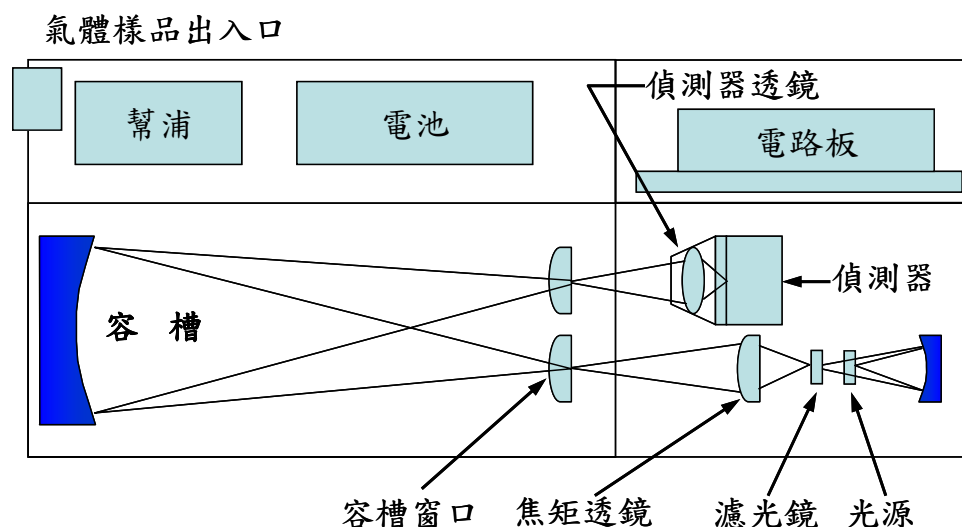
三、主動式 OP-FTIR 系統

主動式開放管徑紅外光系統係利用自發光源，經望遠鏡聚焦後，射向遠方的反射鏡（雙重反射型）或紅外光偵檢器（單次反射型），經由反射鏡導引光線，可設計將紅外光遙測系統進行線、面及立體量測，再加上此系統之解析度可達 0.06 cm，因此有較佳的偵測效能及較低之偵測極限。但此法無參考光源，必須先以一背景圖譜與量測圖譜相比較，再依比例計算污染物濃度。量測時若背景之大氣環境狀況時常變化，則無法獲得正確合用的背景圖譜。除此之外，在長時間測量時雜訊值亦會隨著外界狀況的變化

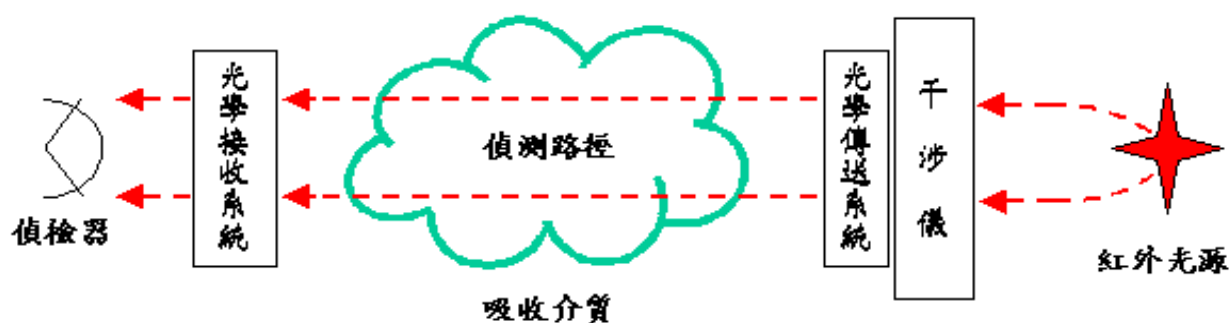
註7 D. A. Skoog, and J. J. Leary, “Principle of Instrumental Analysis”, 4th, Harcourt Brace, 1992。

註8 洪珮珮，「紅外光遙測技術之應用與發展」，《勞工安全衛生簡訊》第17期，民國84年12月。

而改變，造成同一種物質之偵測下限亦隨著時間而改變。



圖一 濾鏡式紅外光偵測原理示意圖（本圖源同註 7，頁 270，作者重繪）



圖二 主動式紅外光遙測原理示意圖⁹

四、被動式 OP-FTIR 系統

被動式 OP-FTIR 系統係利用自然光源（如太陽光），檢測其穿透目標化合物的能量變化。其優點是不須設置反射鏡，可直接量測高層煙囪上的火焰或熱煙柱。然由於持續變化之背景（如天空、草地、建築物等在不同溫度會散發不同背景的光譜），所以在定量偵測上較易產生誤差。被動式 OP-FTIR 技術因不須架設反射鏡，沒有地形阻絕的限制，因此對於無法到達的高樓、煙道頂端，或戰場之即時偵蒐，具有無法取代的特點。

參、遠距遙測技術運用於化學戰劑偵測之發展

遙感式偵測技術始於五〇年代，便開始投入化學戰劑偵檢的運用，其目的主在避免人員直接接觸戰劑的危害，期以獲得早期預警能力。遠距遙測主以光學偵測技術，包括早期的紅外線光譜以及近幾年的紫外光與雷達掃描技術。

註9 本圖取自「空氣中揮發性化合物篩檢方法－開徑式傅立葉轉換紅外光光譜分析法」，民國 94 年 11 月 9 日環署檢字第 0940090233 號公告方法。

(註¹⁰) 主動式紅外線偵測技術，須參考光源或背景資訊加以調整，易受偵檢環境氣態雜質的干擾，致誤警率較高，且因靈敏度較差，實用性有限；開放光徑式傅利葉轉換紅外光遙測 (open-path, OP-FTIR) 則以量測開放空間量測光徑距離內的氣體平均濃度，偵測原理為利用紅外光源產生光束，並通過開放空間，其中部分能量被光徑範圍內的氣體分子吸收後，被偵測器所偵測，而後獲得一干涉圖譜，經由數學運算，可將干涉圖譜轉換成穿透與吸收光譜，再進行光譜比對。由於每種氣體分子均有其特定的紅外光吸收係數，在光束通過量測區域時，特定氣體分子會吸收特定波段的光，由氣體分子的吸收強度與濃度呈線性關係，由收集化學戰劑雲層吸收或放射的譜線與背景輻射作比較，配合高速數位訊號處理器，可得知氣體種類及濃度等資訊。

1954 年起開始運用長徑紅外線進行遠距掃瞄，藉空氣中的G系神經戰劑對紅外線有特殊的吸收光譜線，作為監測有效距離內大區域的神經戰劑染毒偵測技術，如E33 系列的遠距遙測警報裝置 (如圖三所示)。然此一裝備架設耗時且鈍重，降低其在戰場上運用之機會。隨著半導體技術在 80 年代起飛與快速成熟，改變了電子電路的尺寸與運算速度，遠距遙測化學戰劑預警技術得以重新投入戰場，並獲得高度之重視，而隨著 80 年代末期微機電製程技術 (註¹¹) 的發展，也為化學戰劑監偵系統開創出另一嶄新的里程碑！



圖三 美軍E33 開放式長徑紅外光譜儀 (註¹²)

目前使用此類型化學戰劑偵檢器有美國陸軍及海軍陸戰隊所使用的M21 遙感式偵測器及海軍使用的AN/KAS-1 等，均為通用動力公司所研製，皆具備全自動、即時掃瞄能力，可偵蒐戰場上可疑戰劑雲，並可利用M42 示警器或透過

註¹⁰關於紫外光或雷達掃瞄技術的研究發展可參考美國國防部 2005 年 3 月核生化防護計畫之國會年度報告。

註¹¹微機電 (Micro Electronic Mechanical System, MEMS) 製程係利用矽基半導體或塑膠類製程技術將傳統檢測元件縮製晶片大小，其應用涵蓋領域甚廣，如精密工業、生化醫療、資訊與通訊產品、環保安全及國防工業等。

註¹²資料來源：Chemical and Biological Defense Command Historical Research and Response Team, Aberdeen Proving Ground, Md.，其組成包括紅外光源、光反射鏡、光聚集系統、單光鏡等。

系統整合發出警報訊號，可偵檢現有神經、糜爛性戰劑，偵蒐範圍概達 5 公里範圍內，而其偵檢靈敏度約在百萬分之一(ppm)濃度（註¹³），如圖四所示。



圖四 兩款美軍現役遙感式化學戰劑偵檢器，圖左為 M21；圖右為 AN/KAS-1

美軍為減輕裝備重量與偵蒐距離，強化偵蒐能力（神經、血液與糜爛性戰劑均具之功能），以逐步強化現役 M21 之功能，邀集各家廠商研發可提供三軍通用的輕型遙感式化學戰劑偵檢器，以「聯軍輕型遠距遙感警報器 (Joint Service Lightweight Standoff Chemical Agent Detector, JSLSCAD)」為名，同採被動式紅外線偵檢技術，除可定置於地面外（如圖五左），亦可搭配多種載台，以提供船艦、飛機或地面部隊車輛架設，使其不僅具原 M21 遠距遙測之能力，對於機動部隊亦可提供預警之能力，目前均已完成各階段測試，並規劃部署於新一代核生化偵檢車上。值得注意的是 JSLSCAD 與另一款美軍均已測試成功的遠距遙測毒劑警報系統 MCAD（由 Block Engineer Ltd 研製，如圖五右），均具備動態掃描能力 (on the move)，不若以往須將載台固定於一地點，再以偵測系統實施靜態（定點）掃描毒劑雲。其餘已完成測試的遙感式偵蒐裝備如 Brucker Daltonic 公司的 Rapid Stand-off Detector (另稱 HAWK)（如圖六），該系統含車載架體約為 42 公斤，可偵測神經性戰劑如 G 系戰劑、糜爛性戰劑（如芥氣及路易氏劑）、血液性戰劑（如氫化氰）等；工業化毒則可偵測六氟化硫 SF₆ 等約二十餘種，其偵測毒劑光譜與偵測極限如圖七所示，據載目前該系統已獲數個國家採購整合於新一代核生化偵檢車上。

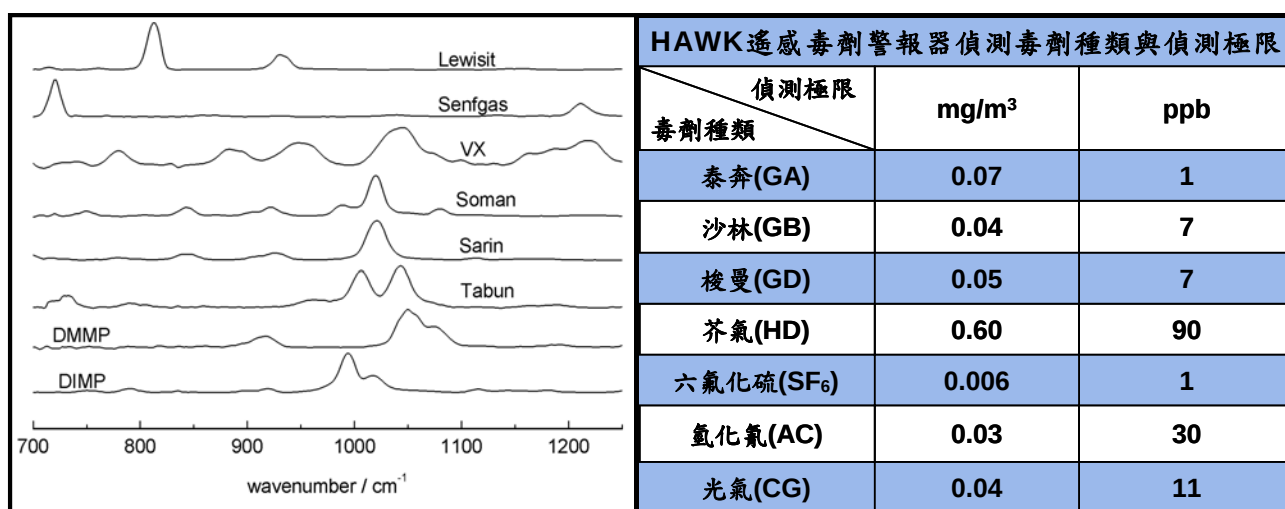
註13根據 Beer - Lambert's 定律，由折射光 (P) / 入射光 (P₀) 的比值可知透光度 (T) 或吸光度 (A)，其關係式為： $T = (P_0 - P) / P_0$ ； $A = -\log T = \epsilon b c$ ，如以化學戰劑毒劑雲解釋，則其中 ϵ 為毒劑分子的吸收係數， b 為毒劑雲的縱深， c 為毒劑雲之濃度。國際上對遠距遙測毒劑雲濃度估算係以特定戰劑的吸收係數不變的條件下，由毒劑雲縱深（通常以公尺為單位） $\times \text{mg} / \text{M}^3$ 等於「戰劑雲的濃度： mg / M^2 」表示之。



圖五 兩款已完成測試階段的 JSLSCAD 遠距遙感毒劑警報器。圖左為美商 GD 公司之產品；圖右為 Block Engineering 公司之 MCAD(由 Tradeway 提供)。



圖六 布魯克公司研製之HAWK遠距遙感毒劑警報器（含車載架）及該系統搭配於載台上之情形（註14）。



條件設定：毒劑雲縱深1公尺；溫度差異1K；偵測時間60秒；光譜解析度4 cm⁻¹；驗證時採不實施掃瞄。

圖七 布魯克公司提供之毒劑偵測光譜與偵測極限。

新一代的核生化偵檢車如美軍 Stryker 及輕量型核生化偵檢車之遙測預警裝

註14 資料來源：台灣布魯克有限公司提供之產品簡報商錄。

備，即採用 JSLSCAD 遙測預警系統（如圖八所示），JSLSCAD 其含旋轉架體之整體重量約概低於 50 公斤，可偵測神經毒劑（GA, GB, GD, GF, Vx）、糜爛性毒劑（HD, HN3, L）及血液性毒劑（AC, CK）等戰劑。



圖八 美軍新一代 Stryker 核生化偵檢車及輕量型核生化偵檢車均採用 JSLSCAD 遙測預警系統。

現階段美軍的遠距遙測技術則朝向整合光學感測技術，除已發展成熟的被動式紅外光檢測技術外，運用都卜勒雷達偵蒐技術、紫外光法及雷射螢光掃瞄技術與電磁輻射掃瞄技術等，將戰場環境內生化戰劑的各種型態（包括氣態、液態與懸浮微粒）進行光譜圖形的交叉感測比對，使生化戰劑的預警功能統合，並期能將預警範圍擴增至 20 公里以上，以符戰場快速機動的特性。圖九為美軍下一代遠距偵蒐系統概念雛形，預估此技術可在 5 分鐘內對空氣中懸浮微粒進行快速掃瞄、偵測，並藉由數據模擬出下風危害距離及範圍，其有效距離為 15 公里，有效毒雲寬度為 400 公尺，上述遠距遙測技術均已實施技術成品測試中，預計近幾年內即可達量產階段。

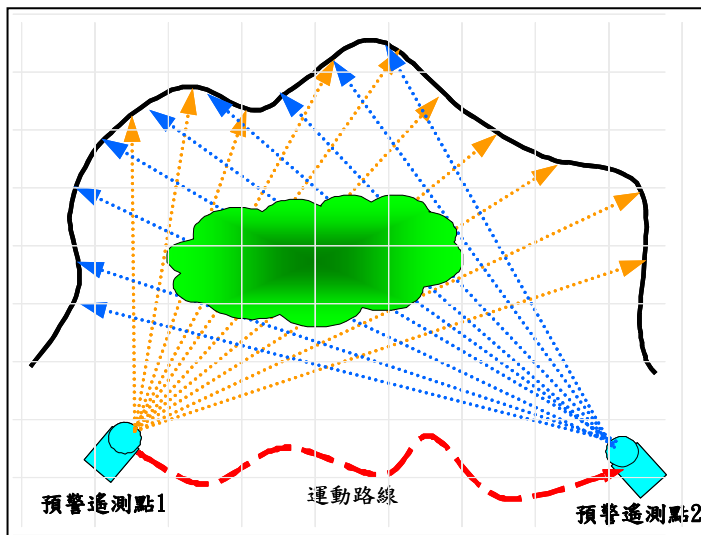


圖九 美軍現階段生化戰劑遠距偵蒐系統概念（參考自 2005 美國國防部向國會提交之核生化防護計畫年度報告）。

伍、現階段遠距遙測技術限制

一、無法確切獲知污染位置：

當前遠距遙測技術受限於被動式紅外光譜技術的影響，使得遙測技術除能鑑定毒劑成分與濃度外，僅能提供有限度的距離（目前預警有效距離概不超過 5 公里）與毒劑雲方位角，對於確切毒劑雲之“位置”則無法直接掌握。依據美軍核生化偵蒐教範 FM-3-19，仍未針對遙測技術如何直接標定毒區範圍作一明確之說明，推測其對於遙測毒劑之位置與範圍的技術探討，概以單機連續監測法（即先行完成毒劑方位角標定後，再機動至另一地點實施監測）或雙機（多點）偵測法（即以雙機同時對可疑毒區進行掃描，標示方位角，據以回報至指揮所，依其標示之毒區角度，再行繪製與標示毒區），其通用作法如圖十所示。此一作法雖有可能因毒劑散布速度而造成預測範圍與位置的部分誤差，也已經是平面遙測技術的最佳戰術運用。



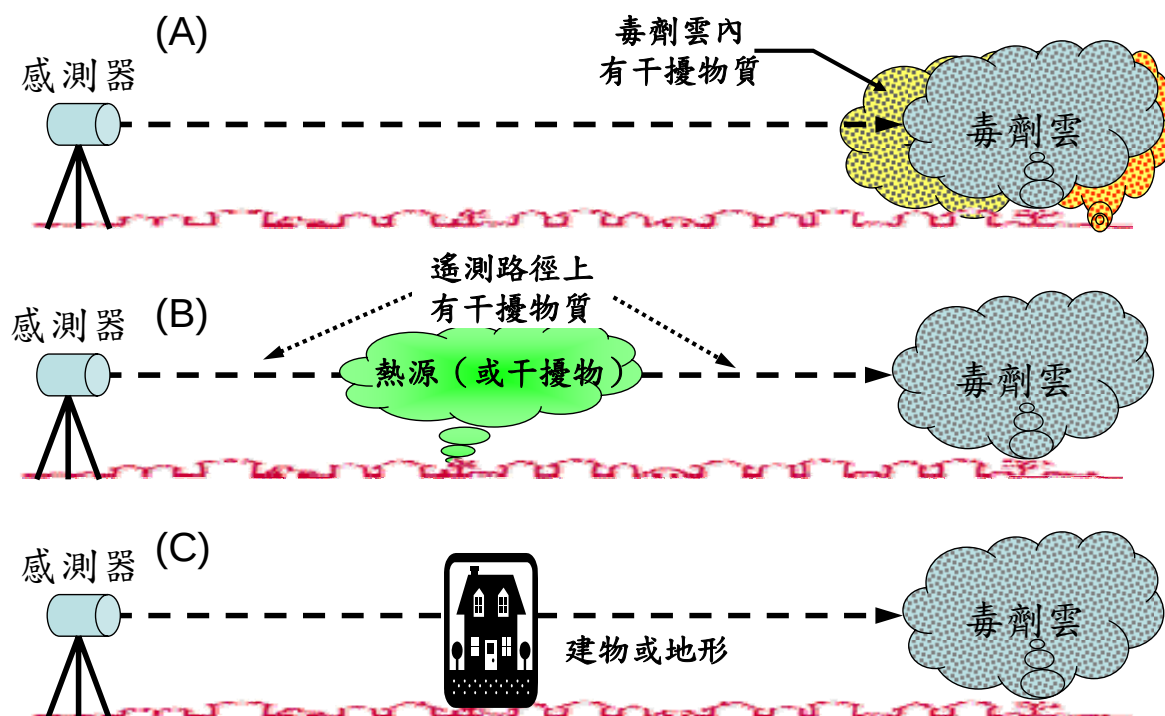
圖十 單機或雙機遙測毒區位置與範圍示意圖（作者自繪）。

二、紅外光吸收光譜線易受環境干擾：

受限於大氣環境下的水氣與二氧化碳等在紅外光譜線有強烈吸收之影響，實際可用於偵測之紅外光譜範圍極為有限，各國現行使用之遠距遙測感應系統，概約使用 $0.7 \sim 1.4 \mu\text{m}^{-1}$ 的波長範圍，所幸傳統化學戰劑如神經、血液與糜爛性戰劑在此範圍均有特殊官能基圖譜，經推估約有 50 餘種列管毒性化學物質，在此波長範圍內，具有特徵譜線可資辨識。惟戰場景況或實際監測環境充斥著各種煙霧、燃燒及各種具有光譜吸收的物質混雜其中，一旦毒劑雲與干擾物質同時存在（如圖十一(A)所示），則誤判機率就可能發生；另干擾物質出現在遙測路徑上，因而遮蔽毒劑雲的特徵吸收譜線，且各種干擾物質愈多、濃度越高，則其辨識能力越受影響（如圖十一(B)所示），甚而發生誤判現象，使得遙測研判毒劑時，徒增許多不確定因素。

三、易受地面障礙物或熱源影響

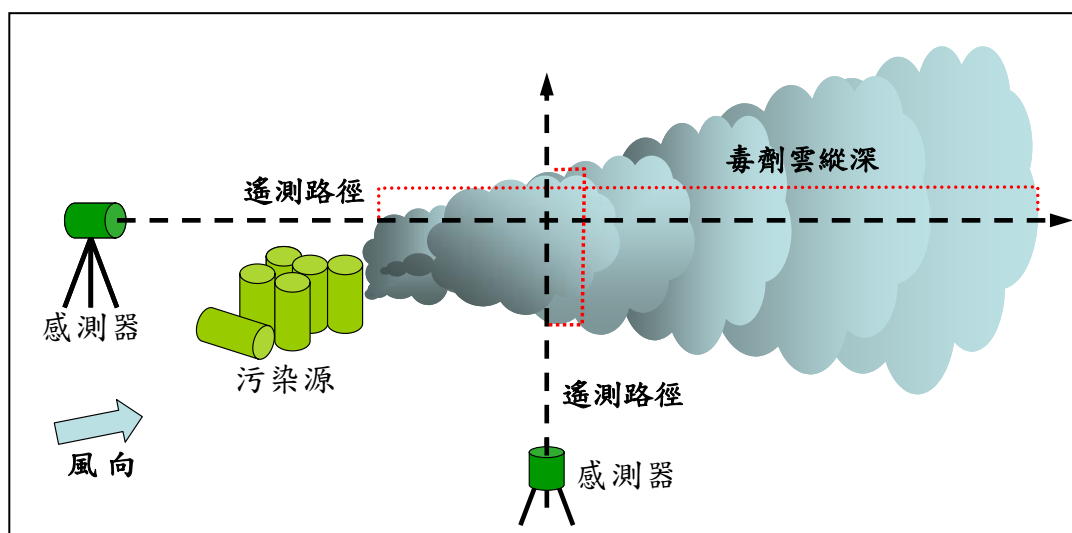
無論架設於車輛或地面上的遙感預警器，受地形起伏、叢林或建築物等地面障礙影響（如圖十一(C)所示），使遙測感應裝備無法發揮監測功能，因此，在選定監測點時必須納入考量，當然也因此限制其戰術發揮。此外，遙感系統須以大氣環境下的背景輻射當作背景校正光譜，再與量測路徑上產生的“溫差”進行比對，因此，一旦「標的區域」的量測路徑上有溫度變化，則將對光譜研判時產生無法確定的「阻礙」問題（同圖十一(B)所示）。



圖十一 遠距遙測技術干擾問題圖解：(A) 毒劑雲與干擾物質共存，吸收光譜受其影響產生研判錯誤；(B) 遙測路徑上有熱源或干擾物質，使毒劑雲的特殊吸收，被遙測路徑上的干擾物質所遮蔽；(C) 建物或地形起伏，直接阻斷遙測路徑（作者自繪）。

四、監測靈敏度受限於毒劑雲縱深：

依據Beer - Lambert's 定律，由折射光 (P) /入射光 (P₀) 的比值可知透光度 (T) 或吸光度 (A)，其關係式為： $T = (P_0 - P) / P_0$ ； $A = -\log T = \epsilon b c$ ，其中 ϵ 為毒劑雲的吸收係數， b 視為毒劑雲縱深， c 為毒劑雲濃度。因此，在有效監測距離內，毒劑雲濃度（以mg/M²表示）與毒劑雲縱深之參數成反比！如在毒劑雲濃度固定條件下，毒劑雲縱深範圍越大，則光譜吸收訊號越高，因此，在可偵測範圍內，不管距離遠近，只要毒劑雲縱深範圍夠大，即便濃度甚低，理論上應仍能測得一定之訊號，因此，遙感警報系統的靈敏度受限於毒劑雲之縱深！從另一角度言之，只要「戰劑雲」發展的範圍不夠寬廣，或監測方位不對，則在感測器的訊號吸收上會有極大的差異，亦即戰劑雲濃度無法據此估算，如圖十二所示，當感測器架設於圖A之位置時，所獲得之毒劑縱深最大，預判顯示之光譜吸收訊號將高於架設在B之位置，假定此範圍內其濃度已達污染標準，則兩位置顯示之濃度將有 5 倍之差異，顯見在實際運用時，必須考慮污染源與風向及感測器掃瞄角度等，攸關感測器靈敏度之技巧。

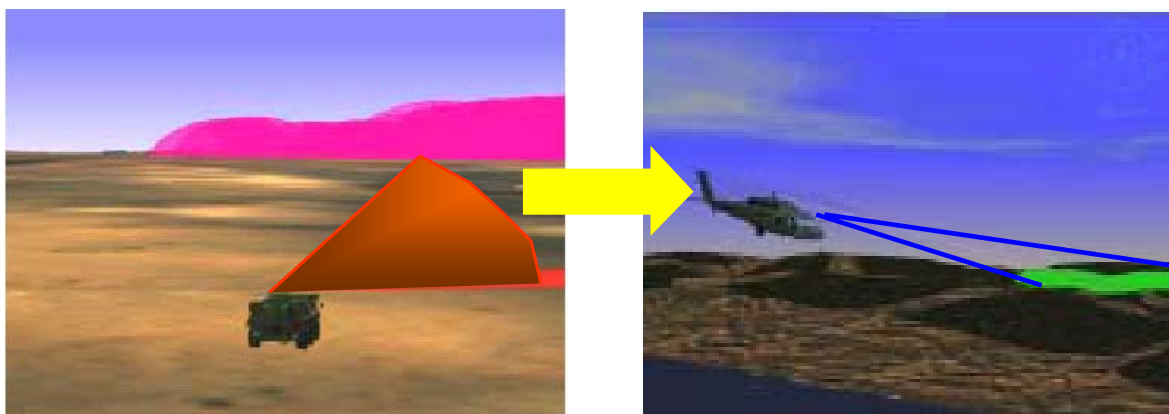


圖十二 遙感預警器架設位置與遙測路徑對「毒劑雲」濃度之影響(作者自繪)。

五、無法直接界定污染源濃度：

遠距遙測所測得之光譜訊號，實為感測器光徑內之平均吸收值，轉換之濃度，對於特定地點之污染濃度，則無法直接判定。同圖十二所示，在感測器 A 點所測得之光譜訊號，為整個毒劑雲縱深之吸收平均值，並非洩漏點或污染源之濃度，就常理言，洩漏點或污染源之濃度乃隨污染源之物質特性、溫度、風向、風速及其地理環境等因素，隨時間向下風處概成喇叭狀立體擴散模式，愈接近污染源，濃度愈高，而遠距遙測僅能提供感測器光徑內之平均濃度，無法直接測得特定點污染源之濃度值，仍須藉由點測式偵檢器或現地實施採樣分析，方能確定。

針對上述現行遙感預警系統的許多限制，顯見平面遙測技術將無可避免地遭遇實際運用上的限制，因此，已有部分研發單位，期望將遙測技術由地面遙測轉而向空中監測發展(如圖十三所示)。由空中實施監測預警，不但可即時監控污染範圍與位置及其發展模式，並可降低地面環境造成的許多干擾，另對特定地點的毒劑雲濃度監控，與搜尋污染源濃度，亦能發揮平面遙測無法達到的許多效果。

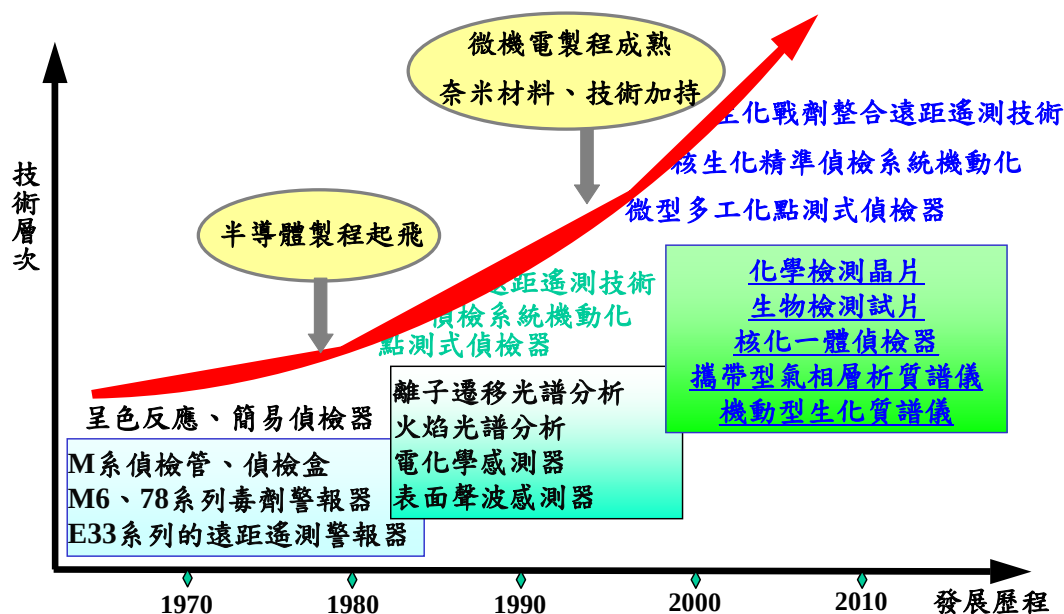


圖十三 地面遠距遙測與空中監測技術示意圖(參考自 2005 美國國防部向國會

提交之核生化防護計畫年度報告)。

陸、遠距遙測立體化發展現況

依據化學戰劑監偵技術的發展歷程與其所需之關鍵技術層次進行歸納（如圖十四所示），在奈米科技、材料及微機電技術整合的加持下，次世代化學戰劑監偵技術，已朝三維立體化發展，並指向以無人飛機（UAV）為載台，將現行預警系統再行減重縮裝，期達質輕、高整合性與多功能的核生化立體遠距遙測系統，目前已有部分廠商已完成研製雛形概念並分別進入測試階段，料將成為次世代核生化監偵系統之主力。



圖十四 化學戰劑監偵技術的發展歷程及其相關關鍵技術層次（作者自繪）。



圖十五 兩款以無人載據為載台之未來立體化監偵系統雛形，圖左為加拿大 TAG 公司之無人載具系統；右圖為美國通用動力公司：龍眼無人載具參考自 2005 美國國防部向國會提交之核生化防護計畫年度報告)。

圖十五為兩款目前正在研發中的無人載具搭配微型化遠距遙測系統，圖左為加拿大 TAG 公司發展之無人載具系統；右圖為美國通用動力公司與美國海軍

研究院共同研發之整合型核生化無人遙測飛機，目前該設計已將輻射偵測與化學戰劑偵檢器縮製於龍眼無人載具(Dragon Eye UAV)上，且將一特殊生物吸附材料(Verigel TM)整合於上，利用遙控方式，可到達監測區上空，執行氣態浮質吸附作業，再將所吸附之氣態微粒物質進行後續生物分析與研判，該合作團隊下一階段將致力於核生化偵測器全數整合併微型化，以達即時(Real-Time)或類即時(near Real-Time)的全功能監偵作業能力。

柒、遠距遙測技術之運用

一、定點預警

遠距遙測技術不僅可提供更長的預警距離、更寬廣的預警範圍，使化學戰劑預警實質效益，由單點預警，延伸至廣面的預警，因此，防護的時間將更形充分，亦即可提供更安全的防護，就防護縱深言，實非點測式化學戰劑偵檢器所能比擬。如能針對特地區域，取得部分制高點（或建築物）上，佈署多組遠距遙測毒劑警報器，並建立二維污染源模式分析系統，形成毒劑預警網路架構，實施長時間監控，則不僅能降低環境干擾，對於化學戰的防護，或特定地點的核生化反恐以及工業區的化毒災應變，均能發揮即時預警效果，有效降低災損。

二、機動偵蒐

就支援核生化防護作戰言，遠距遙測不僅可提供陣地、指揮所、機場、要港的預警防護效果，如配置得宜，其預警效益，幾可涵蓋 10 公里內之範圍，遠超越一般點測式化學戰劑偵檢器之功效。因此如能搭配載台伴隨部隊機動，並整合核生化指管監偵 C4ISR 系統，提供部隊先期污染迴避指導，使作戰區內核生化戰場預警功效更具實質效益，有效消除核生化「戰場迷霧」。如美軍及多國部隊在兩次波灣戰爭中，均有核生化偵檢車配合部隊機動偵蒐，即是一例。

三、污染監控

在國土防衛的角色言，不論是遭軍事化武攻擊或支援反恐及參與化毒災應援作業，災害現場控管的黃金時間，首先必須釐清究為何種危害物質？是否外洩逸散？現場濃度對健康的危害？是救災人員、媒體與群眾關注的焦點，亦關乎所有人員之安危，因此必須快速、準確地掌握並予以監控。遠距遙測技術可在極短的時間完成作業準備、快速的分析多種化合物、標定污染概約範圍，且能持續性地監控污染等優點，將可提供界定冷、暖、熱區之參考與監測現場毒性氣體是否溢散、有無伴隨其他物質發生溢散及消除後空氣污染是否獲得控制等運用，即便光譜資料庫內未建置的化學物質，仍可利用其測定範圍內的光譜吸收隨時間產生吸收值之變化，視為污染監控與消除效能評估之參考依據。

捌、結論

核生化監偵能力係發展與提昇核生化防護四大核心能力之重要指標，本軍化學兵部隊長期投注於核生化偵檢裝備之籌建與偵檢作業之訓練，不論在學術或技術性的探討及戰術作為上，偵檢能量幾已達世界水準，惟對化學戰劑預警能量之建立，則付之闕如，僅能仰賴 M8A1 毒劑警報器實施點測式佈署預警，

在遠距遙測裝備之籌建與技術之探討，仍待我輩化學兵幹部投注心血，以建立優勢核生化監偵嚇阻能力。猶有甚者，在陸軍高度發展 C4ISR 指管體系的過程中，我化學兵更應思考如何能與次世代陸軍指管體系接軌，籌建優勢的兵科能量，遠距遙測與監偵技術之發揚，併行納入本軍指管體系，當能發揮戰場加乘的效果，所謂「工欲善其事，必先利其器」，提升監偵專業能力、廣泛涉略科技新知，務實而認真地思考未來裝備對遂行毒劑與毒化災研判作業所遭遇之困難，當可迎向新世代的威脅與挑戰。

【參考書目】

- 一、鍾堅著「公元2010年中共核生化戰力及對我危害評估」(全民核生化防護研討會論文集)，陸軍總司令部編印，民國89年四月。
- 二、嚴定萍，「未來化毒發展趨勢與我國因應之道」，全民核生化防護研討會，民國89年4月，陸軍總司令部印編。
- 三、殷天爵著，「拒絕毀滅：大規模毀滅性武器預防與因應」，時英出版社，民國九十四年五月。
- 四、林中斌著：《以智取勝》，(台北，國防部史政編譯室印行，民國93年9月)。
- 五、杜祖健博士著，張虞安博士譯「化學、生物兵器概論」藝軒圖書出版社，民國九一年八月，台灣、台北。
- 六、喬良，王湘穗，超限戰：對全球化時代戰爭與戰法的想定(北京，解放軍文藝出版社，1999年9月)。
- 七、D. Hank Ellison, Handbook of Chemical and Biological Warfare Agents, 2000, CRC press.
- 八、Col. Stephen V. Reeves, 《History of Chemical and Biological Detectors, Alarms, and Warning System》，U. S. Army SBCCOM, 2000。
- 九、Skoog, Holler and Nieman, “Principle of Instrumental Analysis”, 1998, Harcourt Drace.
- 十、Chemical and Biological Defense Program Annual Report to Congress, March 2005, Washington DC.
- 十一、Mardou: “Fundamentals of Microfabrication”, CRC Press, 1997。
- 十二、Satu M. Somani, James A. Romano, Jr., “Chemical Warfare Agents: Toxicity at Low Levels”, 2000, CRC press.
- 十三、Robert M. Silverstein and Francis X. Webster., “Spectrometric Identification of Organic Compounds”, 6th, John Wiley & Sons, Inc, 1998.
- 十四、Papricia B. Coleman Eds., “Practical Sampling Techniques for Infrared Analysis”. CRC press, 1993.
- 十五、Peter T. Kissinger and William R. Heineman., “Laboratory Techniques in Electroanalytical Chemistry.” Marcel Dekker, 1996.
- 十六、Jiri Janata, “Principles of Chemical Sensors.” Plenum Press, 1990.