

微晶片電泳於反恐任務之運用一

神經毒劑鑑析

作者／任修平

作者／黃信華

提要

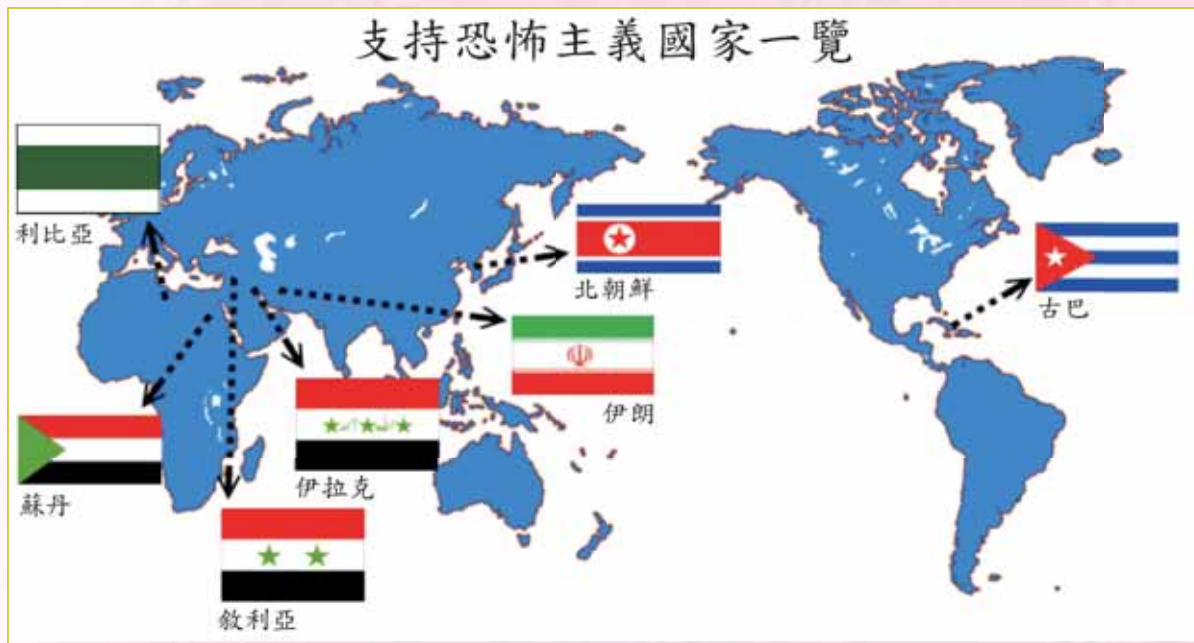
美國自「911」恐怖攻擊事件後，雖然先後對阿富汗及伊拉克等國家發動反恐戰爭，但並未將世界恐怖組織徹底剷除，甚至恐怖活動有不斷蔓延之趨勢。由於媒體與資訊之催化作用，使得恐怖活動無論在型態或攻擊方式，均產生重大變化，各類攻擊武器中，又以素有「窮人原子彈」之稱的化學戰劑，最易為恐怖份子所使用，且其所造成之危害，超出想像，其中又以神經毒劑影響最鉅，不可不慎，國人須早為因應。鑑此，如何運用簡便、快速、精確之檢測儀器，提供正確鑑驗結果，洞燭於機先，防患於未然，實乃當務之急，而「微晶片電泳」應用於神經毒劑之檢測，不啻為一絕佳利器。

關鍵字：恐怖主義、微晶片電泳、化學戰劑、神經毒劑

壹、前言

在美國2001年「911」恐怖攻擊事件後，各國對反恐無不積極應變，採取各項防護措施，然隨著全球化腳步的進展，恐怖主義透過現代科技的助力，已能跨越時空界限而更加有效地進行籌畫與活動。當代的恐怖份子可以在國際間，經由衛星、網路及通訊設備籌集資金、傳遞訊息或發號施令。恐怖組

織散佈全球(圖一)，藉由尖端科技的協助，深藏不露以規避當局，並且遙控恐怖活動的進行。其次，恐怖活動技術性與隱蔽性也越來越高，相較核子武器或其他高科技武器而言，爆裂物、化學戰劑、毒品由於原料來源較易取得及製造程序步驟簡單，已成為恐怖份子主要運用破壞的工具，各類攻擊武器中，又以素有「窮人原子彈」之稱的化學戰劑



圖一 全球支持恐怖主義國家分佈圖

，最易為恐怖份子所使用。第一次世界大戰以來，化學戰劑便一直在戰爭中構成威脅^①，其中又以神經毒劑影響毒害最鉅。1995年3月20日，日本東京地下鐵發生的沙林(sarin)及VX毒氣攻擊恐怖事件，不僅造成11人死亡，5,000餘人受傷^{②③}，更顯示過去原本應用於戰場上的神經性化學毒劑開始被有心的恐怖份子作為達成特定目的的恐怖手段。

憲兵為國軍執行「反恐制變」任務之一環，面對國際間日益嚴重的恐怖威脅，憲兵

配合國家危機處理機制，執行反恐制變任務。並依國防部命令協力警察及其他相關單位共同執行任務；另憲兵化毒快速偵檢小組及憲兵特勤隊為反恐之專業編組，依令可適時執行毒害區域初期偵檢管制及反劫持、反劫機與反破壞等任務。在針對化毒偵檢任務，編組4個化毒快偵小組，分置於北(2)、中(1)、南(1)都會區，執行化毒災害初期偵檢任務。因此如何研發快速、微型、靈敏、實用、精確的檢測器，提供第一線執勤人員實施檢測，以達快速預警，及早防範之作為，實



- ① Abou – Donia MB, Organophorus ester – induced delayed neurotoxicity [Review] . Annual Review of Pharmacology & Toxicology 21(1981), 511.
- ② M. Katagi, M. Nishikawa, M. Tatsuno, H. Tsuchihashi, J. Chromatogr., B 689(1997), 327.
- ③ C. Hawley, G.. G.. Noll, M. S. Hildebrand, Special Operation for Terrorism and Hazmat Crimes, Red Hat publishing Co., (2002).

為反恐鑑識刻不容緩的課題，以有效防範於未然，消彌於無形。

根據文獻，傳統分析神經毒劑之鑑驗方法眾多^{④⑤⑥}，如氣相層析法(gas chromatography, GC)、液相層析法(liquid chromatography, LC)、質譜法(mass spectrometry, MS)及毛細管電泳法(capillary electrophoresis, CE)等，除針對其原型物種分析外，亦針對其崩解產物(breakdown products)進行分析檢測，雖然其分析結果均不錯，然共同之缺點，除本身儀器價錢昂貴外，樣品有時需前處理、濃縮、衍生，且無法直接攜至現場予以檢測，造成檢測實務之不便，更無法於第一時間提供正確檢測防護結果。如何能快速、精確檢測神經毒劑及其降解產物，實為最迫切之需，而微晶片電泳(microchip capillary electrophoresis, MCE)的誕生，將解決上述等缺失，可成為效率極高之行動實驗室(mobile laboratory)，做為第一線的偵檢，提供有效絕佳之反恐鑑識利器。

微晶片電泳是傳統毛細管電泳之縮小精

細版^⑦，典型的微晶片是由4或9平方公分的矽氧化物、玻璃、石英或塑膠為基材，並在其上蝕刻出截面積小於50 μ m的微通道，再覆蓋一層平板，形成封閉通道，以儲存樣品與試劑，其中由於fused silica、玻璃材質昂貴，晶片製作程序費時，且製程中使用許多有害人體的化學藥品等等因素，故其發展仍舊面臨許多問題。

傳統製造晶片技術有熱印壓模(imprinting and hot embossing)^{⑧⑨}、反應離子蝕刻(reactive ion etching)^⑩、雷射切割(laser ablation)^⑪、LIGA(lithographic, galvanoformung, abformung)製程^⑫及射出成型(injection molding)^⑬等方法，其中以熱印壓模作為製造晶片技術最為簡便，然其製程條件之限制因素過多，導致成品之分析效果未臻理想。最近由國立交通大學謝有容教授實驗室所研發採用之簡易快速微晶片製程方法為^⑭：bondless microchip，取代傳統線壓法製程中之繁瑣步驟，所製成之乾膜基質毛細電泳微晶片(dry-film-based microchip



④ E. W. J. Hooijschuur, C. E. Kientz, U. A. Th. Brinkman, J. Chromatogr., A 982(2002), 177.

⑤ J. Wang, Anal. Chem. Acta 507(2004), 3.

⑥ S. Y. Chang, W. -L. Tseng, S. Mallipattu, H. -T. Chang, Talanta 66(2005), 411.

⑦ M. Ludwig, F. Kohler, D. Belder, Electrophoresis 24(2003), 3233.

⑧ Y. J. Juang, L. J. Lee, K. W. Koelling, Polym. Eng. Sci. 42(2002), 539.

⑨ Y. J. Juang, L. J. Lee, K. W. Koelling, Polym. Eng. Sci. 42 (2002) , 551.

⑩ C. Khoury, G. A. Mensing, D. J. Beebe, Lab. Chip 2 (2002) , 50.

⑪ M. A. Rober, J. S. Rossier, P. Bercier, H. Girault, Chem. 96 (1997) , 2035.

⑫ G. M. Whitesides, E. Ostuni, S. Takayama, X. Y. Jiang, D. E. Ingber, Annu. Rev. Biomed. Eng. 3 (2001) , 335.

⑬ R. M. McCormick, R. J. Nelson, M. G. AlonsoAmigo, F. Benvegnu, H. H. Hooper, Anal. Chem. 69(1997), 2626.

⑭ Y. -C. Tsai, , H. -P. Jen, K. -W. Lin, Y. -Z. Hsieh, J. Chromatogr. A 1111(2006), 267.

capillary electrophoresis, DFB-MCE)，將微晶片電泳製程帶入更創新的領域。藉助其可於現場即時分析、用後即可拋棄、大量樣品平行分析及操作簡便等特色，發揮立即檢測，快速處置之效果，將傷害降至最低，提供反恐鑑識最佳之分析方法。

貳、化學戰劑之神經毒劑^{15 16 17 18 19 20}

神經毒劑(Nerve agents)大部份為有機磷化合物，是一種強有力、不可逆的乙酰膽素酵素抑制劑，不易揮發，高極性物種，由德國人Dr. Gerhard Schrader，在1934年發明當作農藥使用，合成了約2,000種的有機化合物中，發現了毒性甚強的化合物而被歸類為G(G：German)神經化學毒劑，這類毒劑的特性是容易噴灑，性質穩定，毒性很強，一旦由呼吸吸入或皮膚接觸，即很快發生作用，造成死亡。二次世界大戰後英國與其同盟國會同自德國俘虜的科學家，共同合作發展出第四種更具有威脅力的V類神經毒劑。戰後的神經毒劑發展，美國陸軍以GB(沙林)及VX 為主，俄國陸軍則以GA(泰奔)及GD(梭門)為主。神經毒劑很容易經簡單技術合成，設備也相當便宜(有報告指出只須台幣三萬元)，原料也容易取得且價格便宜。神

經毒劑已取代其他化學毒氣，是恐怖分子的最佳選擇。神經毒劑可歸類成兩大部分：G-type及V-type兩種型式。

一、G-type神經毒劑

G系毒劑具有極高毒性，易揮發且快速水解，除形成蒸氣迅速進入呼吸道外，亦可以液體狀態由皮膚滲入體內，微量即能致死。其作用為破壞副交感神經系統，阻止神經刺激傳遞到肌肉的功能。初步症狀是使瞳孔縮小、視線模糊、眼部刺痛、胸部緊繃、呼吸困難、頭暈、肌肉抽搐痙攣、排洩失禁，最後因呼吸器官之肌肉組織機能麻痺失去控制，導致缺氧衰竭而死亡。其主要化學結構含有典型的：P-F及P-CN鍵結，化學結構及水解過程如圖二所示。

(一)泰奔(Tabun)，符號GA

1.物理性質：

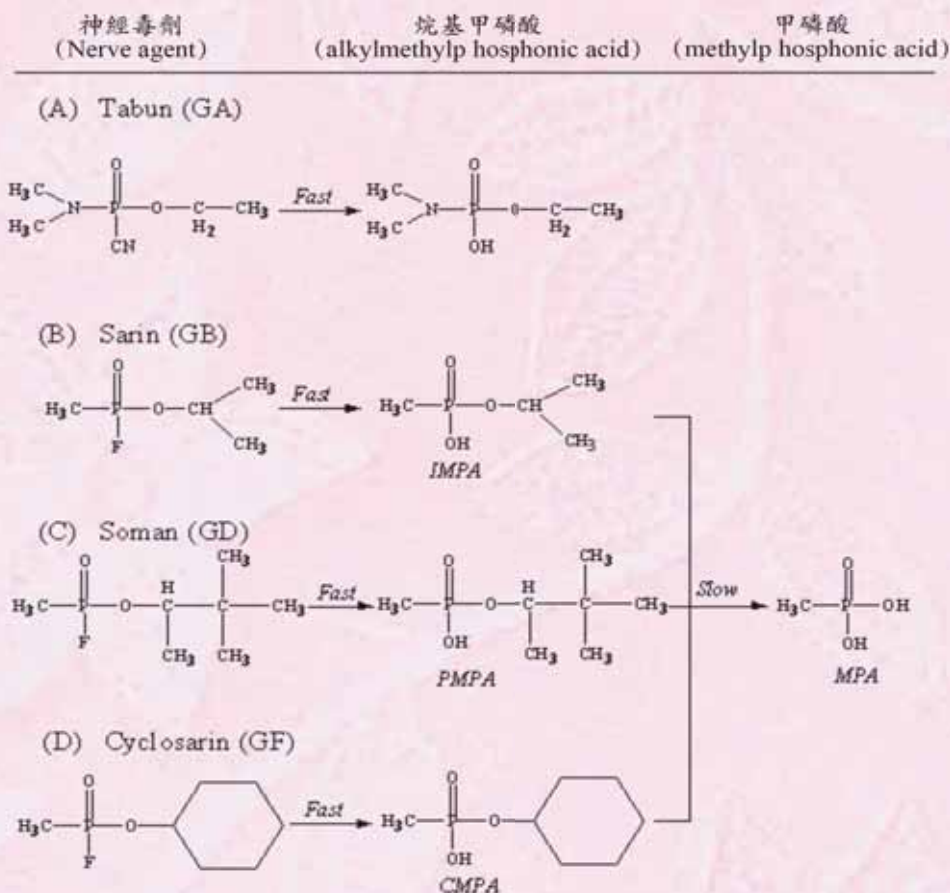
- (1)純者無色，粗製者呈棕色。
- (2)具輕微水果香味。

2.化學性質：

- (1)水解極慢，但可與強酸強鹼作用，與鹼作用後將破壞毒性，故鹼為有效之消除劑。
- (2)與金屬及其他物質均不起反應。



- ¹⁵ D. D. Richardson, J. A. Caruso, Anal. Bioanal. Chem., 388(2007), 809.
- ¹⁶ G.. Reiter, J. Mikler, I. Hill, K. Weatherby, H. Thiermann, F. Worek, J. Chromatogr. B 873(2008), 86.
- ¹⁷ V. Tak, P. K. Kanaujia, D. Pardasani, R. Kumar, J. Chromatogr. A 1161(2007), 198.
- ¹⁸ M. Palit, D. Pardasani, A. K. Gupta, P. Shaky, D. K. Dubey, Anal. Bioanal. Chem., 381(2005), 477.
- ¹⁹ D. Noort, A. G.. Hulst, D. H. J. M. Platenburg, M. Polhuijs, H. P. Benschop, Arch. Toxicol. 72(1998), 671.
- ²⁰ D. B. Mawhinney, E. I. Hamelin, R. Fraser, S. S. Silva, A. J. Pavlopoulos, R. J. Kobelski, J. Chromatogr. B 852(2007), 235.



圖二 G-type神經毒劑之主要水解途徑。(A)泰奔(Tabun，GA)；(B)沙林(Sarin，GB)；(C)梭門(Soman，GD)；(D)環沙林(Cyclosarin，GF)。

(3)漂白粉可作其消除劑。

(二)沙林(Sarin)，符號GB

1.物理性質：

(1)沸點151℃，常溫下為無色液體，具水果香味。

(2)凝固點-55℃，可溶於有機溶劑中。

2.化學性質：

(1)水解的速度隨水中含鹼的程度而改變，愈鹼愈速。

(2)對鋼鐵、金屬微起腐蝕效應。

(3)神經毒劑酸水解是破壞神經毒劑

的有效方法，但可能生成新的毒劑，如氫氰酸、氫氟酸，故多不採用酸水解而用鹼水解，或漂白粉處理。

(三)梭門(Soman)，符號GD

1.物理性質：

(1)純者為無色液體，具水果香味，粗品有樟腦味。

(2)可溶於有機溶液。

2.化學性質：

(1)在5%氫氧化鈉中，五分鐘可完全水解。

(2)對金屬略有腐蝕作用。

(四)環沙林(Cyclosarin)，符號GF

1.物理性質：無色無味

2.化學性質：

(1)低揮發性、持續性化學劑。

(2)以氣體或氣膠型態經由皮膚接觸或呼吸器官進入人體。

二、V-type神經毒劑上

(一)VX戰劑

最初於20 世紀50 代早期在英國問世，其主要化學結構含有典型的：P-S鍵結，化學結構及水解過程如圖三所示。

1.物理性質：

(1)無色無臭之液體。

(2)揮發性低，持久性長。

(3)凝固點低，在攝氏0℃ 時亦不凝結，適於寒帶使用。

2.化學性質：

(1)具黏著性，外貌似機油。

(2)無色無味氣體，水中溶解度1~5 %，分解程度低，皮膚吸收毒性比芥氣強約2000倍。

(3)不易水解、分子結構穩定、無揮發性，噴灑於土壤、植物及裝備房舍。

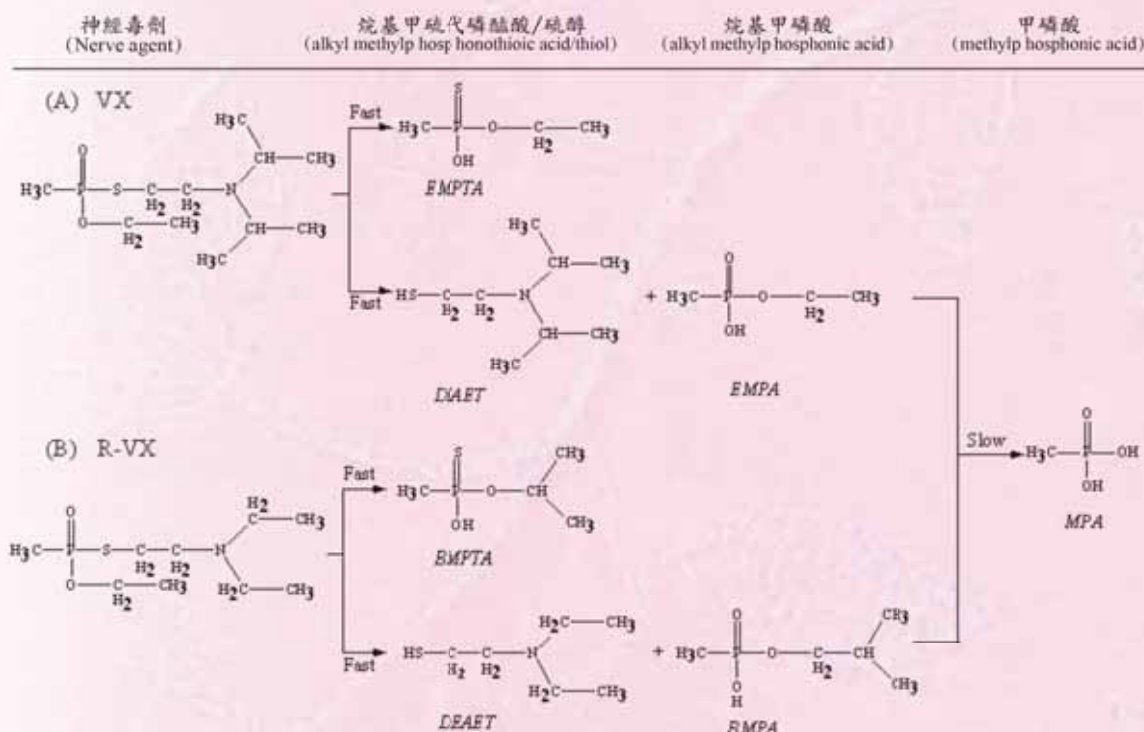
(二)R-VX戰劑：性質與VX雷同。

參、國軍傳統使用之化學戰劑檢測方法

一、國造M8A1毒氣警報器(圖四)

國造M8A1毒氣警報器，為中科院依據美軍M8A1毒氣警報器改造而成。

(一)特點：



圖三 V-type神經毒劑之主要水解途徑。(A)VX戰劑；(B)R-VX戰劑。



圖四 國造M8A1毒氣警報器

1.可自動偵檢空氣中之神經毒劑，並適時提供示警警報。

2.可同時連接多具示警系統，並可利用交、直流電力系統運轉。

3.其內之M43A1偵測器，可自動偵檢空氣中神經毒劑，並可發出警聲示警，同時輸出驅動訊號至連線的M42示警器。

4.當M43A1偵測器偵測到神經毒劑時，位於遙隔位置之M42示警器可發出警報及警示燈閃爍示警。

(二)缺點：

1.M43A1偵測器暴露於高濃度的火箭推進劑煙霧、掩護煙幕、信號煙幕或引擎排氣煙霧中，或是遭遇核爆時，皆可能發出警報信號。

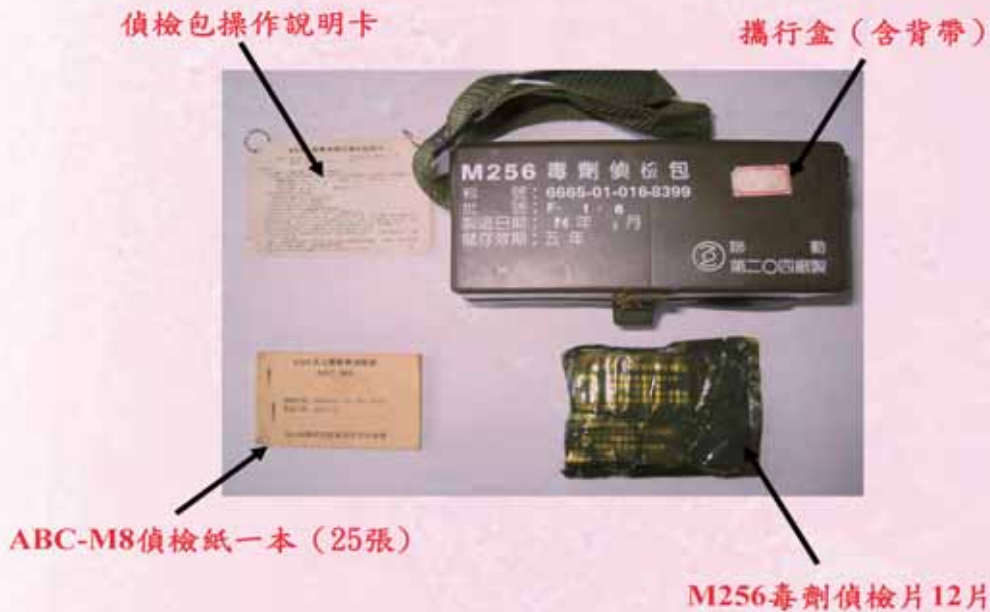
2.當警報系統發出示警聲，警示受化學戰劑襲擊，必須依繁複之程序，進行再確

認。

3.在寒冷氣候下，其內之鹼性乾電池組無法在氣溫低於-7°C的狀況下供應M43A1偵測器運轉電力。在此狀況下，需外加110V交流電源電力轉換後供應。

二、國造M256毒劑偵檢包(圖五)

於1970年代，美軍為重整舊有龐大操作不便的化學毒劑檢驗盒及研改，並對當時ABC-M8偵檢紙僅能偵檢液態毒劑之缺點，及極具威脅性的神經性、糜爛性及血液性毒劑，而開發出M256毒劑偵檢包，其呈色作用原理簡易，可於操作後拋棄，故國軍仿製美軍ABC-M8偵檢紙及M256偵檢片，並整合於M256毒劑偵檢包內，其M256偵檢片可同時偵檢神經、血液、糜爛及路易氏戰劑，適合偵檢液態及氣態毒劑污染。內裝M256毒劑偵檢片12片、ABC-M8偵檢紙1本



圖五 國造M256毒劑偵檢包

及M256毒劑偵檢包操作說明卡1份。

(一)原理：利用偵檢片內的藥劑與毒劑產生化學反應，經染料成色反映出毒劑的特性，藉顏色深淺變化，判別具威脅性之神經、血液及糜爛性毒劑濃度，經由此法所偵檢之結果只能初步判斷，其準確度仍較儀器偵檢為差。

(二)偵檢種類(範圍)：

- 1.神經性毒劑：G-type及V-type戰劑。
- 2.糜爛性毒劑：如芥氣(H、HD)、光氣「圪」(CX)、路易氏劑(L)等。
- 3.血液性毒劑：氰化氫(AC)、氯化氰(CK)。

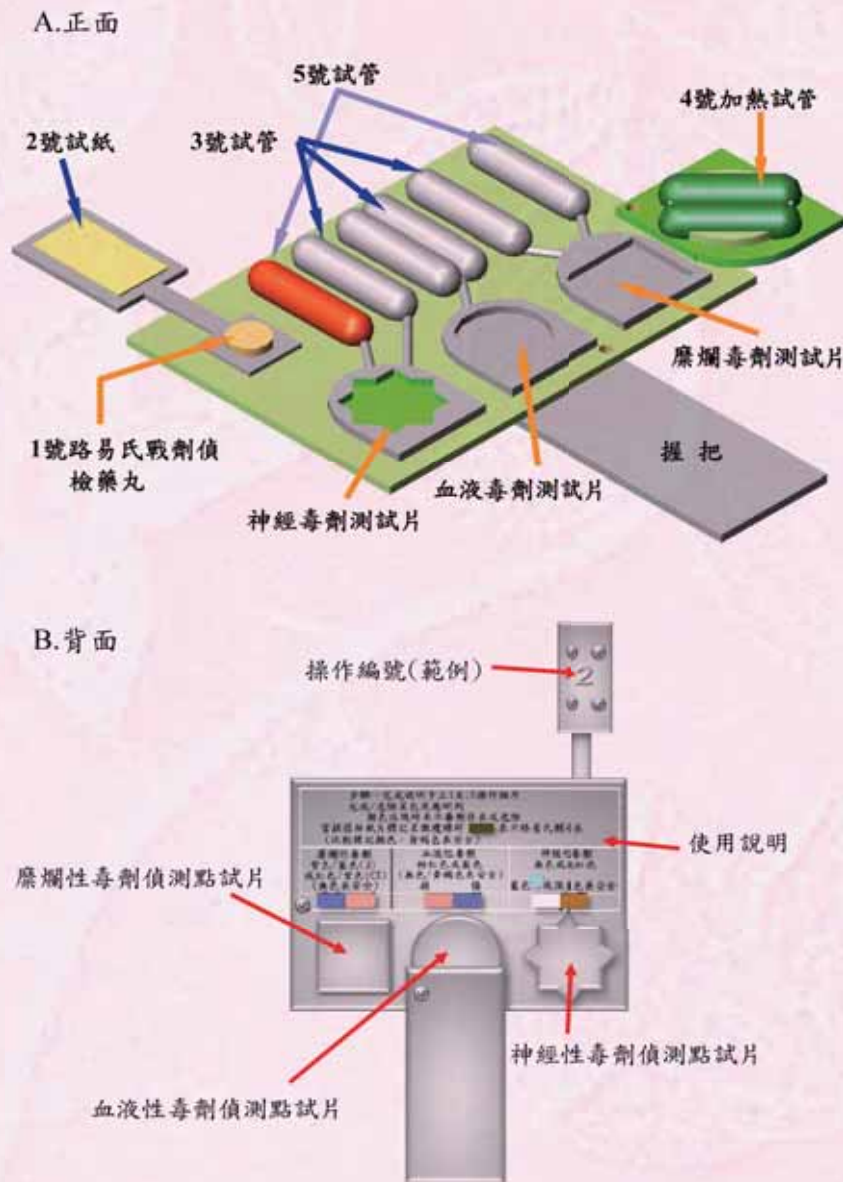
(三)各組成元件及使用方法：

1.M256偵檢片(圖六)：內含各類毒劑之偵檢點試片、偵檢藥劑管、加熱藥劑管、偵檢藥粒、保護膠套、搓揉白紙及保護紙板

等，其各細部組成以塑膠套結合成偵檢片。偵檢片之正面塑膠套，其上印有操作順序之號碼(1至5號)；背面印有是否有毒劑存在之各種呈色反應判別說明，可供操作者比對。

(1)路易氏戰劑偵檢試片：利用Thio-Michler's Ketone 試劑偵檢液態路易氏戰劑，在M256偵檢片上1號路易氏劑偵檢藥粒內含色紅棕色4'-Bis-dimethylamino-thio-benzophenone 化合物，當液態路易氏戰劑滴於其上時，由於戰劑內具有自由態鹵素(含氯基)經2號偵檢試片搓揉反應後，會氧化成藍色的Diquinoidic離子化合物，據此判別毒劑之有無。

(2)神經毒劑偵檢試片：星形神經毒劑試片係以乙醯膽鹼酵素偵檢神經毒劑。若有神經毒劑時，由於乙醯膽鹼酵素活性遭到抑制，因此無法進行水解反應，故試片上產



圖六 國造M256毒劑偵檢片組成名稱 (A) 正面；(B) 背面

生紅色反應。

(3) 血液毒劑試片：利用次氯酸鹽 (NaOCl) 作為氧化劑，使與血液毒劑中的氰基 (CN^-) 反應生成 Cl-CN^+ (氯化氰)，並與吡啶類 (4-benzyl pyridine) 化合物反應，經巴比妥酸 (barbituric acid) 參與反應後，

生成粉紅色至紫紅色化合物，以判別含氰基之血液性毒劑。

(4) 糜爛性毒劑偵檢試片：其作用原理係利用氯化亞銅與鋁粉作用產生之熱源，將3號試管之甲醇溶液揮發烘乾，使DB-3化合物與氰化汞吸附於糜爛性方形偵檢試片之

矽膠上，經加熱兩分鐘後，使甲醇溶液揮發完全後，暴露於空氣中十分鐘，使糜爛性毒劑與DB-3試劑反應附著於試片上，再行壓破另外一支加熱管使H系毒劑與DB-3經加熱反應一分鐘，而產生「藍色」的芥氣(HD)或氮芥氣(HN)等糜爛性戰劑液體；或產生「紅色」光氣圪(CX)戰劑，若無糜爛性毒劑存在時，則無反應物生成，即無顏色變化發生。

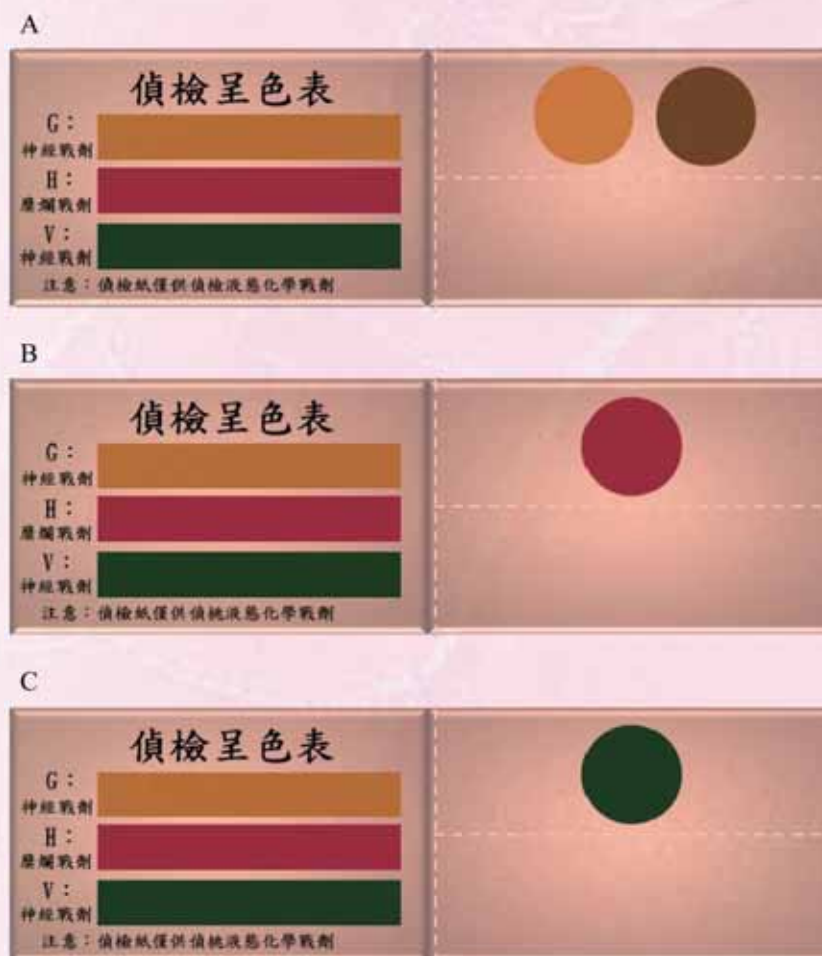
2.ABC-M8偵檢紙(圖七)：每本共有25張，每張中央有撕開線，可撕成2張使用，共可使用50次。其封面有國軍料號及製造日期，

封內印有偵檢呈色表；封底印有使用說明。偵檢紙只能用來偵檢液態毒劑，氣態則無法偵檢。取偵檢紙，與液體染毒表面直接接觸被可疑液體污染的表面，若產生的呈色班痕與封面內頁的呈色表相似，即表示可能已被液體毒劑污染。

(1)如變為土黃色或是棕色則為G系毒劑；部分G系毒劑，會產生紅棕色反應，介於芥氣(H)及G系毒劑顏色之間(圖七A)。

(2)變紅色則為糜爛性毒劑(圖七B)。

(3)變深綠色為V系毒劑(圖七C)。



圖七 國造ABC-M8偵檢紙呈色反應(A)G系神經毒劑呈色；(B)糜爛戰劑呈色；(C)V系神經毒劑呈色

(四)缺點：

- 1.僅能就液態毒劑進行檢測，無法針對氣態毒劑檢測，實用性降低。
- 2.檢測易受外在環境溫度影響，溫度過高，對偵測敏感度將大幅降低。
- 3.不可摔碰擠壓。

肆、傳統毛細管電泳與微晶片電泳應用於神經毒劑鑑析之比較

一、傳統毛細管電泳運用神經毒劑鑑析

由於G-type及V-type之神經毒劑(Nerve agents)大部份為有機磷化合物，易於水解形成烷基甲磷酸(alkyl methylphosphonic acids)及(或)烷基甲硫代磷醯酸(alkyl methylphosphonothioic acids)、硫醇(thiols)或氰化物(cyanide)，不易就其完整結構直接進行鑑定，其中烷基甲磷酸為最主要之辨識結構，並且其會以緩慢速度水解成甲磷酸

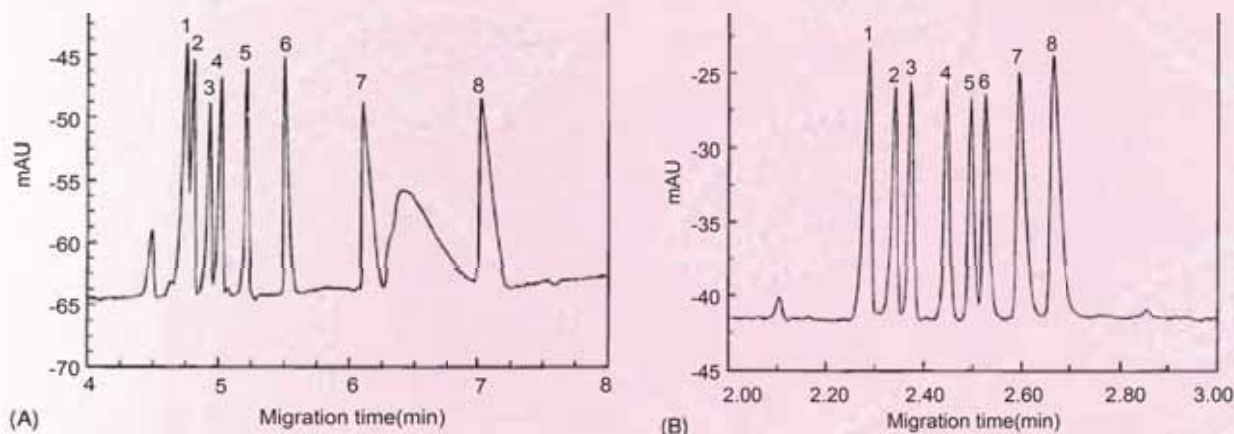
(methylphosphonic acid)，通常針對烷基甲磷酸及甲磷酸等進行鑑定與偵測，藉以判定是否為神經毒劑。表一顯示G-type及V-type神經毒劑之化學名稱及其降解產物。由於烷基甲磷酸及甲磷酸成分，具酸性及極性，不利於氣相層析質譜儀(GC-MS)分析，必須進行化學衍生方能予以檢測，耗時且有害人體，而毛細管電泳法可大幅降低上述之缺點，分析物不須經由化學衍生，即可進行偵測鑑定。如圖八A所示，當未添加陽離子界面活性劑(cationic surfactants)時，經由毛細管電泳分析結果可清楚看出，在8分鐘內，即成功分離出各類神經毒劑及其降解之水解產物，然當添加少量陽離子界面活性劑(如圖八B所示)，可更進一步於3分鐘內，即完成神經毒劑及其降解之水解產物之分離，不僅縮短鑑驗時間，亦提升偵測之精確度。²¹ 此

表一 G-type及V-type神經毒劑之化學名稱及降解產物

神經毒劑名稱	化學名稱	降解產物	共同產物
G-Type			
泰奔（Tabun, GA）	<i>O</i> -Ethyl N, N-dimethyl phosphoramidocyanate	EDPA	MPA
沙林（Sarin, GB）	<i>O</i> -Isopropyl methylphosphonofluoridate	IMPA	
梭門（Soman, GD）	<i>O</i> -Pinacolyl methylphosphonofluoridate	PMPA	
環沙林（Cyclosarin, GF）	<i>O</i> -Cyclohexyl methylphosphonofluoridate	CMPA	
V-Type			
VX	<i>O</i> -Ethyl <i>S</i> -2-diisopropylaminoethyl methylphosphonothiolate	EMPA	MPA
R-VX	<i>O</i> -Isobutyl <i>S</i> -2-diethylaminoethyl methylphosphonothiolate	IBMPA	



²¹ A. -E. F. Nassar, S. V. Lucas, W. R. Jones, L. D. Hoffland, , Anal. Chem. 70(1998), 1085.



圖八 利用毛細管電泳分析神經毒劑降解產物；(A)未添加陽離子界面活性劑；(B)添加少量陽離子界面活性劑；其分析之物種為：(1)EHMPA；(2)MPA；(3)EMPA；(4)IMPA；(5)BMPA；(6)IEPA；(7)CMPA及(8)PMPA。[21]

外，紫外可見光偵測器(UV-vis detector)最常用於傳統毛細管電泳分析中，然由於烷基甲磷酸於紫外可見光區無吸收度，無法直接偵測，因此亦有相關專家學者，藉由添加不同試劑的輔助，利用間接紫外可見光偵測法(indirect UV-vis detection)，來提高烷基甲磷酸之偵測。^{22 23 24 25}一些學者將毛細管電泳結合質譜分析法，運用於烷基甲磷酸之偵測，分析效果極佳，如圖九所示，唯所需分析時間仍須耗費25分鐘，為其缺點之一，然仍不失為檢測之利器。²⁶然不管上述偵測方法準確度如何精良，均無法於第一時間攜至案發現場，提供現場人員及時處置作為。

二、微晶片電泳應用於神經毒劑鑑析

由於神經毒劑易水解，對其降解產物的辨識相形重要，尤其是施放現場，當採樣人員到達時，所能採證之樣品，可能受到周遭溫度、風向及濕度影響，造成收集之樣品可能極微量，對鑑識人員將造成極大挑戰，且若無法即時辨識毒劑種類，將無法提供現場負責人第一時間所應採取之作為，更無法對已遭受攻擊傷害之人員，立即予以救治，將錯失先機，造成遺憾及傷亡。而微晶片電泳之運用，正可解決此一問題，除可攜至現場予以偵測，更可在3分鐘左右即辨識出毒劑之種類，有效防範恐怖份子之攻擊。另一個



²² J. E. Melanson, B. L. -Y. Wong, C. A. Boulet, C. A. Lucy, J. Chromatogr. A 920(2001), 359.

²³ S. A. Oehrle, P. C. Bossle, J. Chromatogr. A 692(1995), 247.

²⁴ J. -P. Mercier, P. Morin, M. Dreux, A. Tambute, J. Chromatogr. A 779(1997), 245.

²⁵ J. -P. Mercier, P. Morin, M. Dreux, A. Tambute, J. Chromatogr. A 741(1996), 279.

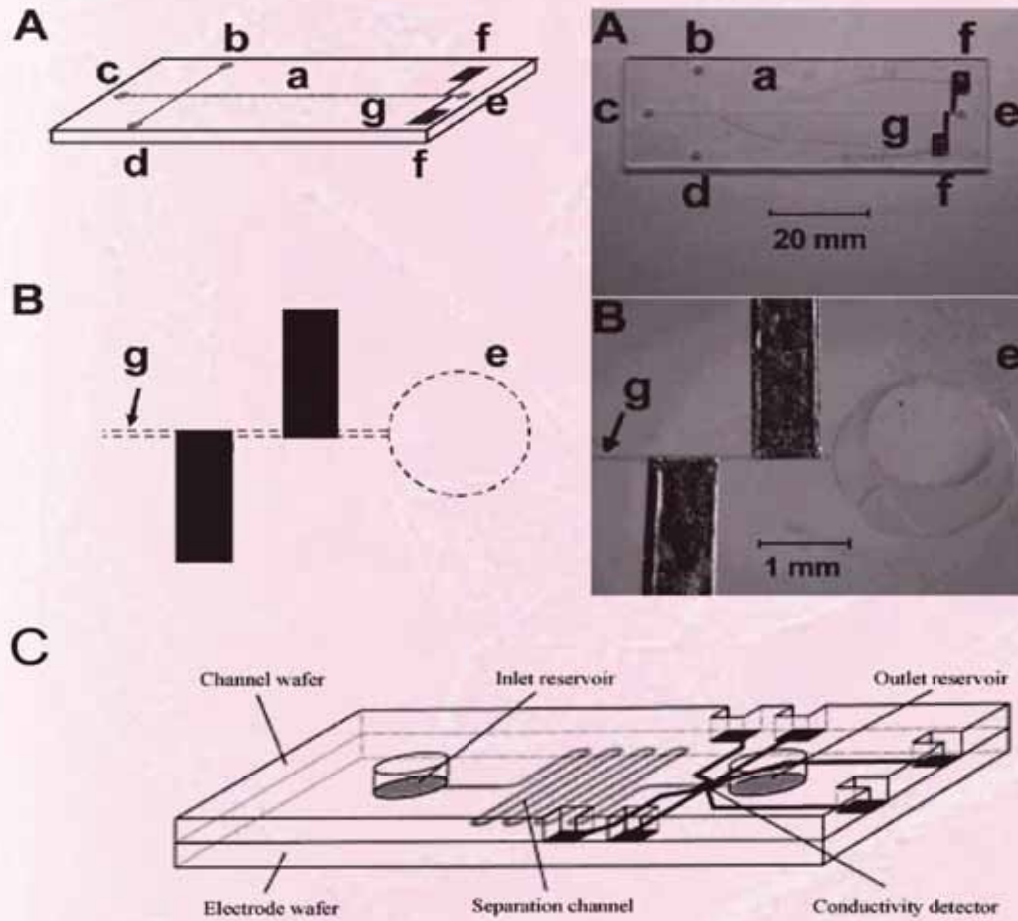
²⁶ J. -P. Mercier, P. Chaimbault, P. Morina, M. Dreux, A. Tambute, J. Chromatogr. A 825(1998), 71.



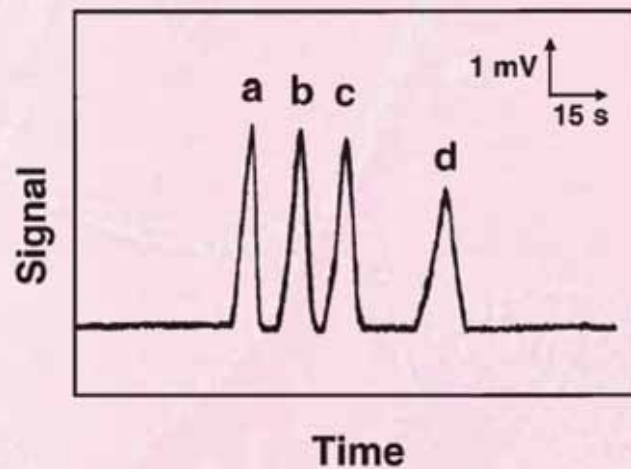
美國學者J. Wang及M. Pumera之研究團隊，首次運用微晶片電泳結合無接觸式導電偵測器(contactless conductivity detector, CCD)(如圖十所示)，應用於神經毒劑之檢

J. Wang研究團隊更進一步研究設計微晶片電泳結合移動式無接觸導電偵測器 (movable contactless conductivity detector,

- 27 M. Pumera, J. Wang, F. Opekar, I. Jelinek, J. Feldman, H. Lowe, S. Hardt, *Anal. Chem.* 74(2002), 1968.
- 28 M. Pumera, *Talanta* 74 (2007), 358.
- 29 J. Wang, M. Pumera, G.. E. Collins, A. Mulchandani, *Anal. Chem.* 74(2002), 6121.
- 30 J. Wang, G. Chen, and A. Muck, *Anal. Chem.* 75(2003),4475.



圖十 微晶片電泳結合無接觸式導電偵測器（contactless conductivity detector, CCD）之示意圖及3D立體圖。[27]

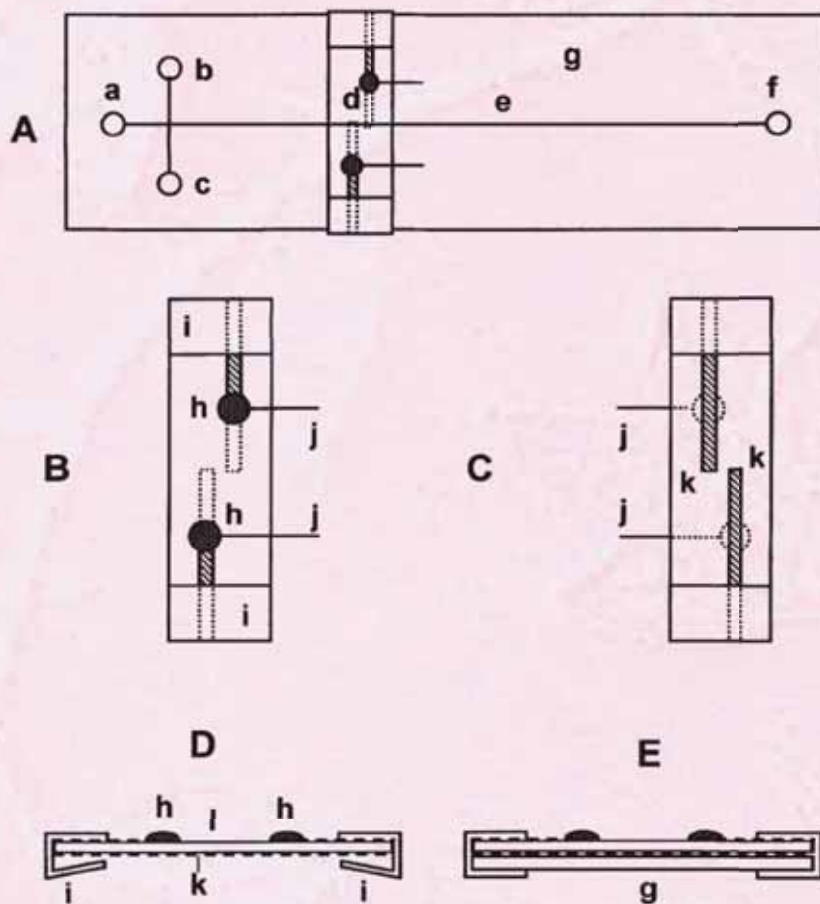


圖十一 運用微晶片電泳結合無接觸式導電偵測器分析神經毒劑降解產物之結果。
(a)15 ppm MPA；(b)20 ppm EMPA；(c)20 ppm IMPA及(d)50 ppm PMPA。[28]

MCCD)(如圖十二所示)，期能藉由隨時調整無接觸式導電偵測器之位置，以獲得最佳分析條件，該研究團隊甚至將此一技術，運用在火炸藥及神經毒劑之偵測。除所需之分析樣品少量，降低對鑑識人員之危害外，更可縮減檢測時間，快速提供檢測結果，實用性更大。在圖十三為利用傳統固定式之無接觸式導電偵測器鑑析結果，同時分析火炸藥中所含之(a)氯離子(chloride)、(b)過氯酸根

(perchlorate)離子及神經毒劑之降解產物(c)MPA、(d)IMPA、(e)PMPA，由分析結果中可看出，在4.8公分之有效分離長度中，於240秒內，即成功析離出此七種分析物，然當使用移動式無接觸導電系統時，只需在2.5公分的有效分離長度，於180秒即完成所有樣品之鑑析，大幅縮短偵測分析時間。

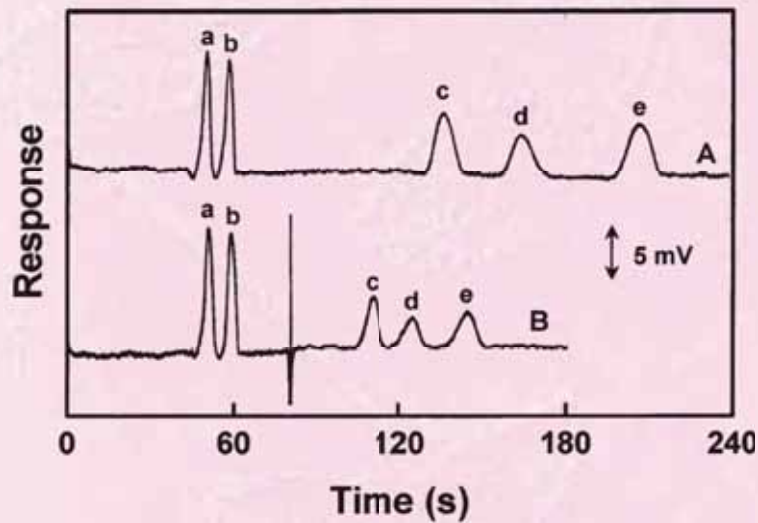
(三)微晶片電泳結合電化學偵測器(electrochemical detection, ED)³¹：



圖十二 微晶片電泳結合移動式無接觸導電系統 (movable contactless conductivity system) 之示意圖。[29]



³¹ J. Wang, J. Zima, N. S. Lawrence, M. P. Chatrathi, A. Mulchandani, G. E. Collins, Anal. Chem. 76(2004),4721.



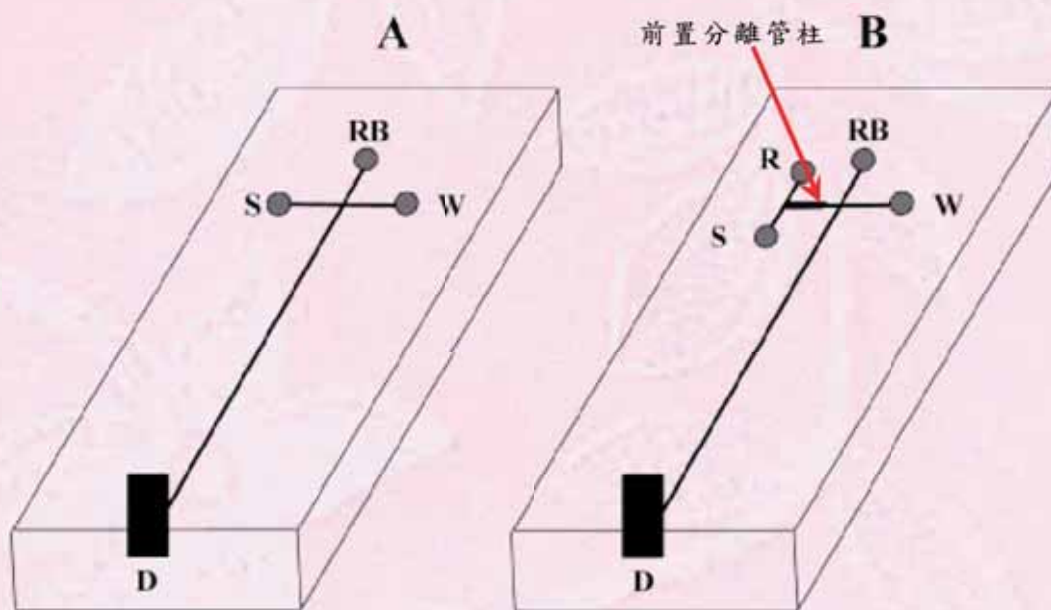
圖十三 利用微晶片電泳分析火炸藥及神經毒劑圖譜。(A)結合傳統固定式之無接觸式導電偵測器鑑析結果；(B)結合移動式無接觸導電偵測器鑑析結果；分析物種：火炸藥中所含之(a)氯離子(chloride)、(b)過氯酸根(perchlorate)離子，及神經毒劑之降解產物(c)MPA、(d)IMPA、(e)PMPA。[29]

神經毒劑中，由於V-type之毒性高於G-type，且V-type之水解過程產生多種混和含硫醇(thiol-containing)降解產物，而這些硫醇降解產物，在自然環境中較其原型神經毒劑還穩定，因此是作為檢測此類神經毒劑最佳之分析物，亦可藉此推測其原型神經毒劑為何。然針對此類含硫醇降解產物，由於此物種本身無發色基，亦無紫外光及螢光反應，對鑑驗人員而言，極具挑戰，也正因如此，傳統毛細管電泳及使用紫外光偵測器之分析儀器，並不適用此類物種分析。美國學者J. Wang之研究團隊有鑑於此，利用微晶片電泳結合電化學偵測器(圖十四)，成功分析出V-type之水解混和含硫醇降解產物，並藉此推測V-type神經毒劑之類型，且此方法之靈敏度及穩定度均佳，利於第一現場之毒

劑偵測。此外，該研究團隊更將微晶片設計稍做改良(圖十四B)，在其分析樣品流道前端，設計前置分離管柱(precolumn)，讓樣品在進行分析前，先在前置分離管柱進行化學衍生，藉以提昇分析樣品之穩定性及偵測靈敏度，有效予以鑑析。並將此方法運用於真實樣品，如被施放毒劑而污染之河水，得到絕佳之檢測結果。

伍、結論

神經毒劑，其毒性強，一般偵檢器材無法達到快速預警，就國軍部隊目前所使用偵測儀器而言，毒氣警報器仍是目前偵測神經毒劑最有效裝備，唯其仍有部分缺點，而將微晶片電泳運用於神經毒劑檢測，除快速、方便、簡易、精確及便宜外，更重要的是可攜至現場，即時予以檢測，成為一機動性極



圖十四 微晶片電泳結合電化學安培偵測器示意圖：(A)簡單之分析流道設計；(B)含前置分離管柱(precolumn)流道之微晶片設計—可應用於樣品分析前之化學衍生反應。R：試劑儲存槽；S：樣品放置槽；RB：分離緩衝溶液儲存槽；W：廢液儲存槽；D：電化學安培偵測器。[31]

高之行動實驗室，並在短短三分鐘內即可判斷毒劑種類，提供第一線人員立即採取防護措施及急救作為，減少部隊人員之傷亡。其次，由於其價格便宜，用完即可拋棄，可防止分析樣品鑑析時之污染，提供最正確之檢測結果，亦可減少人力耗損及儀器維修保養等所耗費之時間及金錢，本中心更鑑於恐怖

份子，除直接使用化學戰劑及爆裂物進行直接破壞外，亦可能間接運用毒品，進行長時間控制危害個人，乃進一步將微晶片電泳運用於毒品檢測，已有所成，期能早期防堵危害肇生，以達防恐制變之目的，有效發揮反恐鑑識之功效。

作者簡介

任修平

中正理工學院應用化學系正53期，
1989~1993

國立中央大學化學系碩士，1997~1999

國立交通大學應用化學系博士，002~2006

憲兵司令部刑事鑑識中心 中校副主任

作者簡介

黃信華

中正理工學院應用化學系正66期，
2002~2006

憲兵司令部刑事鑑識中心 中尉刑事鑑識官

國防部憲兵司令部刑事鑑識中心