

半自動手槍射擊殘跡記憶效應之研究

作者：茆璨鵬[※]
指導教授：孟憲輝[§]

目 次

壹、前言	肆、結果與討論
貳、文獻探討	一、各廠牌槍枝射擊殘跡記憶殘留分析結果
一、射擊殘跡之形成	二、彈頭硬力擠入後膛採得樣品分析
二、射擊殘跡的種類	三、留用槍枝試射無毒底火子彈之採樣分析
三、無毒底火、隨案而定	四、射擊訓練用槍射擊非腐蝕底火子彈採得樣品分析
四、記憶效應	伍、結論
五、實驗設計及研究範圍、限制	
參、實驗方法與材料	
一、實驗器材	
二、實驗方法	

摘 要

本研究使用涉案留用之 5 種廠牌型號半自動手槍共 15 把及中央警察大學射擊訓練用 2 種廠牌 3 種型號半自動手槍共 9 把，進行射擊殘跡記憶效應 (memory effect) 研究。以鎢銅筆採取槍管後膛、彈室及槍口導轉側及循跡側等處樣品，再以掃描電子顯微 /X 射線能譜分析法 (SEM/EDS) 分析，結果於涉案留用槍枝樣品中均可測得非腐蝕底火特异性元素組成的鉛、鎳、鋇記憶殘留。警大射擊訓練用槍樣品則測得無毒底火元素成分之記憶殘留。證實記憶殘留確實存在我國常見之半自動手槍中。

※ 中央警察大學鑑識科學研究所、臺中市政府警察局巡官。

§ 中央警察大學鑑識科學學系教授。

為了解射擊殘跡記憶殘留的攜出機制，本研究選擇有鉛、銻、鋇殘留之槍枝 2 支，分別以硬力將未射擊彈頭擠入槍管，結果於擠入彈頭表面採得樣品測得鉛、銻、鋇元素存在。顯示彈頭與槍管來復線的摩擦確實對記憶殘留的攜出具有貢獻。再利用有鉛、銻、鋇記憶殘留之槍枝 2 支，實際試射無毒底火子彈，結果於射擊後彈頭、被射物表面、射擊者右手虎口及擊發彈殼外表面等位置採得樣品都測得鉛、銻、鋇元素。顯示記憶殘留確可於射擊時被攜出，並與該次射擊之射擊殘跡成分混合，改變射擊殘跡元素組成，進而影響射擊殘跡之鑑識。

本研究另對射擊殘跡記憶效應的產生機制進行研究，選擇不含射擊殘跡特異性元素鉛、銻、鋇之射擊訓練用槍 2 支，分別試射非腐蝕底火子彈 20 發後，在槍枝的後膛、彈室、槍口導轉側及循跡側採樣分析，結果均測得鉛、銻、鋇記憶殘留。被射物樣品採得之射擊殘跡微粒，則同時測得槍管原有之記憶殘留元素及非腐蝕底火所含之鉛、銻、鋇元素。

射擊殘跡記憶效應確實存在我國常見半自動手槍之現象，可供實務機關進行射擊殘跡鑑識之參考，除應更周全地分析射擊者手部、被射物、槍管內部、射擊後彈殼內部及外部等多種樣品，以獲得完整之射擊殘跡元素組成訊息外，對於射擊殘跡鑑定結果之詮釋更應謹慎為之。

關鍵詞：槍彈鑑識、射擊殘跡、記憶效應、半自動手槍、SEM/EDS

壹、前言

槍枝擊發時，含有不同大小微粒的混合物從槍口、拋殼窗或其他槍枝縫隙排出到槍枝外，並沈積在槍枝鄰近周圍的人或物體表面，統稱為射擊殘跡（gunshot residues, GSR）。其成分來源主要為底火、發射火藥、彈頭、彈殼、潤滑劑及槍管（孟憲輝，1996；Meng and Caddy, 1997；Dalby, Butler, and Birkett, 2010）。目前射擊殘跡中常見的底火特異性金屬元素，係來自非腐蝕底火的史蒂芬酸鉛、硫化銻及硝酸鋇，經射擊過程而形成含有鉛、銻、鋇元素的類球

形顆粒，鑑驗時多以含有這三種元素之微粒為標的（Meng and Caddy, 1997；

American Society for Testing and Materials, 2010）。

當槍枝擊發後，射擊殘跡沈積於槍管及彈室內表面，再次擊發時，射擊殘跡會混合之前殘留於槍管和彈室的射擊殘跡，一併帶出，使後射子彈之射擊殘跡混有前次射擊之射擊殘跡元素組成，此即「記憶效應（memory effect）」（黃金榮，孟憲輝，2008；Meng and Caddy, 1997；Dalby, Butler, and Birkett, 2010）。

文獻探討顯示記憶效應的現象確實存在

於槍枝中，國內已有探討轉輪槍射擊殘跡記憶效應之研究 (Meng and Caddy, 1997)。本研究針對國內涉案時最常出現之 9mm Luger 口徑半自動手槍 (孟憲輝, 2007) 進行射擊殘跡記憶效應之探討，首先欲了解此效應是否存在？可能會造成的影響及是否會造成射擊殘跡比對上之矛盾？同時也希望能夠針對記憶效應是如何被帶出之機制進行研究，期能知道在何種條件下，前次射擊累積於槍枝中之射擊殘跡會被帶出？希望對於未來若發現彈殼內之底火殘跡組成與射後周圍射擊殘跡比對上出現矛盾時，能藉由此研究之結果進行更精準的解釋及研判。

貳、文獻探討

一、射擊殘跡之形成

當槍枝擊發時，扣動扳機牽引撞針打擊底火皿並引爆底火，底火藥爆炸使溫度及壓力提高達約為 2000°C 及 1400psi。爆炸產生之火焰、高溫氣體及火花由導火孔進入火藥室，引爆發射火藥，產生大量的熱及燃氣，在彈室狹窄空間中於千分之一秒間形成高壓，使溫度及壓力再度提高至約 3600°C 及 40000psi (Meng and Caddy, 1997; Sporting Arms and Ammunition Manufacturers' Institute, 2013)。火藥燃氣瞬間產生膨脹，進而推送彈頭離開彈殼，進入槍管並在高壓火藥燃氣推送下，高速離開槍口 (孟憲輝, 1996; Meng and Caddy, 1997)，同時產生一團包含固體微粒及氣態成分的混合物排出槍枝周圍，這些因射擊槍枝而產生的

混合物統稱為射擊殘跡 (gunshot residues, GSR)，也稱子彈射擊殘跡 (cartridge discharge residues, CDR) 或武器射擊殘跡 (firearm discharge residues, FDR) (孟憲輝, 1996; 金志明, 2004)。

射擊殘跡因為底火藥燃燒產生的高熱，高溫環境超過底火無機成分之氣化溫度 (鎔 1140°C、銻 1380°C、鉛 1620°C)，使其熔融並蒸發成氣態，因過飽和及表面張力作用而凝結成球形液滴 (droplets)。又彈頭射出經過槍管時，部分彈頭表面因刮擦而脫落或因摩擦及高溫而脫落氣化，與來自底火藥產生之液滴混合，並藉由爆炸引發之高速氣體從槍口、拋殼窗及其他槍枝縫隙中噴出，而射擊後槍管中壓力降低及溫度快速下降，此類金屬液滴固化因表面張力作用形成類球形微粒，直徑範圍約在 0.1 μm ~55 μm ，又液滴可能彼此混合 (coalescence)，在冷卻後形成更大的類球形顆粒 ($\geq 55 \mu\text{m}$)，故特异性之射擊殘跡為具類球形 (Zeichner, Ehrlich, Shoshani and Halicz, 2006; Suga et al, 2014; Hogg, 2013)。

二、射擊殘跡的種類

射擊殘跡內的各種成分可能來自底火藥、發射火藥、潤滑油、彈頭、包衣、彈殼及槍管等，主要可分為有機射擊殘跡及無機射擊殘跡。本研究以無機射擊殘跡為主要標的。無機射擊殘跡來自底火藥、發射火藥、彈頭、彈殼及槍管中經高溫燃燒後的無機殘跡成分，其中底火藥為主要成份來源，底火組成成分亦因不同的製造商而各有不同；

在 1921 年出現含有史蒂芬酸鉛、硫化銻及硝酸鉬的現代底火（modern primer）延續迄今（Dalby, Butler, and Birkett, 2010），當中作為起爆劑之史蒂芬酸鉛，作為氧化劑之硝酸鉬及硝酸鉀，作為燃料之硫化銻、矽化鈣、鋁粉及鈦粉等等（Wolten and Nesbitt, 1980），經高溫燃燒後形成鉛、鉍、鉀、銻、鈣、鋁、鈦等無機射擊殘跡，而國際間公認之鑑驗標的亦以無機射擊殘跡為主，由上述底火成分燃燒產生之鉛、銻、鉍無機殘跡為主要標的。

三、無毒底火、隨案而定

近年來因環保團體的倡導，火藥中添加的重金屬對環境及人體的危害日漸被重視，許多廠商開始發展無鉛底火或無毒底火子彈，利用原子序較低的元素取代原有之重金屬元素，如起爆劑史蒂芬酸鉛以重氮二硝基酚替代，原本之氧化劑硝酸鉬則以硝酸鋇、硝酸鉀、硝酸鈉、氧化鋅或二氧化鈦等成分代替，燃料中的硫化銻則以矽化鈣、鋁粉、鎂粉或其他無煙火藥等取代（李協昌、孟憲輝，2002；孟憲輝，1996；Martiny et al, 2008；Dalby, Butler, and Birkett, 2010）。某些底火可能不含上述鉛、銻、鉍之其中一種或多種，並摻雜其他種類之元素，在射擊過後並不會產生傳統射擊殘跡含有之鉛、銻、鉍特異性元素，使鑑驗時會產生偽陰性的情形（Dalby, Butler, and Birkett, 2010；Charles, Nys and Geusens, 2011）。

有國外文獻顯示，可藉由分析彈孔周圍之射擊殘跡組成（FDR）與射擊過之槍管內

殘留成分、彈殼內成分或彈頭上成分，以連結槍枝與彈孔（Charles, Nys and Geusens, 2011）；近年亦陸續有學者提出，鑑驗射擊殘跡時，應針對不同案件採取不同的鑑驗模式，亦即隨案而定（case by case）的方法，當進行射擊殘跡鑑定時，若分析出特定成分元素，應盡可能收集該案件射後之槍枝、彈殼甚至是被射物表面射擊殘跡等進行射擊殘跡元素成分之比對，為最佳鑑定方式（黃金榮，孟憲輝，2008；Romolo and Margot, 2001；Charles, Nys and Geusens, 2011；American Society for Testing and Materials, 2010）。

ASTM 中亦認為要判斷元素的組成，應根據已知來源的槍枝武器、彈殼或其他被害人相關證物彼此間相互比對；若測得罕見的組成元素，則必須與案件中特定子彈、火藥、槍枝等進行試射後再相互比對，為最佳之方式。（American Society for Testing and Materials, 2010）

四、記憶效應

當射擊循環結束後，槍管內尚有些許射擊殘跡的殘留，以色列學者 Zeichner 等人將射擊過之槍管浸泡酸液 1 小時後，對槍管進行採樣分析，發現仍可測得鉛元素存在，並稱之為「鉛元素記憶」（lead memory），並說明鉛元素強力附著於槍管內，即使經過物理性或化學性清潔，都無法有效清除之。（Zeichner, Ehrlich, Shoshani and Halicz, 2006）

Martiny 等人（Martiny et al, 2008）及

Charles 等人 (Charles, Nys and Geusens, 2011) 發現在射擊者手上及射後彈殼中採得之射擊殘跡成分不相同的情形，子彈射擊後在槍枝之彈室、槍管中形成射擊殘跡並被記憶下來，當再次射擊時，射擊殘跡因射擊之高溫高壓作用混合有前次記憶於彈室及槍管中之射擊殘跡，將之一併帶出，使後射子彈之射擊殘跡混合有前次子彈之火藥成分，此即記憶效應 (memory effect)。

國內有文獻以四種不同方式進行轉輪槍枝的清潔，發現仍可從槍管內測得鉛、銻、鋇等特異性射擊殘跡元素，顯示這些清潔方法均無法有效將槍管內殘留之射擊殘跡完全清除，亦證明記憶效應確實存在槍枝中。(林怡貝，孟憲輝，2013) 記憶效應的產生會造成射擊殘跡鑑定上的矛盾，有國外學者提出系統化的鑑定方式，即當採得槍擊案件之射擊殘跡時，應搜尋槍擊現場殘留之槍枝武器、彈殼、相關之火藥殘跡等，逐一進行比對，首先得知此槍擊案件可能產生的射擊殘跡種類，再進一步從送驗之物證上搜尋此特定類別之射擊殘跡，而達鑑驗比對的結果，建立案件的四向連結。(Martiny et al, 2008; Zeichner, Ehrlich, Shoshani and Halicz, 2006; Dalby, Butler, and Birkett, 2010; Charles, Nys and Geusens, 2011; American Society for Testing and Materials, 2010)

五、實驗設計及研究範圍、限制

本研究以實務上涉案之半自動手槍，經查獲而被中央警察大學留用之槍枝及本校射

擊課程訓練用槍枝為研究材料，首先分析目前國內涉案常見之半自動手槍是否有記憶效應的存在。選取足夠數量且不同廠牌之槍枝，分析在各槍枝之彈室、槍管後膛及槍口等部位採得樣品，以探討 GSR 記憶效應是否存在。若確實存在，則進一步分析比較射擊殘跡元素組成之異同。另本校射擊課程訓練用槍早期雖曾射擊非腐蝕底火子彈，但後來長期使用無毒底火子彈射擊，本研究進行採樣分析以了解非腐蝕底火特異性之鉛、銻、鋇元素是否仍以記憶效應之方式存在。就上述不同種類槍枝中，分別選取具矩形來復線及多角形來復線之槍枝，分析不同來復線特徵是否對記憶效應造成影響，並採取槍口來復線導轉側及循跡側之陰、陽線交接處樣品，分析在槍口兩側射擊殘跡成分之差異情形。不論對於彈室、後膛、槍口等位置記憶效應之研究，均需分析一定數量以上槍枝始可獲得足夠資訊，並將資料整合比較，以獲得我國常見 9mm Luger 口徑半自動手槍 GSR 記憶效應之存在狀況。

本研究另一主軸係針對記憶效應攜出機制及形成機制進行研究，設計兩個部分之實驗。第一部份為記憶效應被攜出機制的研究，設計兩面向實驗進行分析，一為以硬力擠壓彈頭進入確定含有鉛、銻、鋇元素殘留之槍管後膛，探討彈頭進入槍管後膛時，來復線與彈頭的摩擦攜出記憶效應的具體結果。另一面向為進行實彈試射，以確定有鉛、銻、鋇等射擊殘跡元素記憶殘留之槍枝射擊無毒底火子彈後，研究槍枝內記憶效應現象經擊發後被攜出之分布情況。第二部份

為記憶效應形成機制的研究，以不具有鉛、銻、銀元素記憶殘留之槍枝射擊含鉛、銻、銀元素之非腐蝕性底火子彈，觀察實際射擊是否在槍枝內形成記憶效應及形成 GSR 記憶效應所需射擊子彈之數量。利用上述設計之實驗確立記憶效應的產生及推測其形成機制，藉此了解實際射擊對射擊殘跡記憶效應形成之影響。

參、實驗方法與材料

一、實驗器材

(一) 槍枝：中央警察大學留用涉案半自動手槍及射擊訓練半自動手槍共 24 把，詳如表 1。

表 1 實驗用半自動手槍編號及相關資訊

編號	校內留用槍枝編號	口徑	廠牌	來復線類型
01	SP9190015891	9mm × 19	Beretta92FS	矩形
02	SP9190017891	9mm × 19	Glock 19	多角形
03	SP9190618983	9mm × 19	Beretta92FS	矩形
04	SP9190334911	9mm × 19	Glock 19	多角形
05	SP9190593973	9mm × 19	Beretta92FS	矩形
06	SP9190382924	9mm × 19	Glock 19	多角形
15	SP9190540953	9mm × 19	Vektor CP1	多角形
16	SP9190551953	9mm × 19	Vektor CP1	多角形
17	SP9190554953	9mm × 19	Vektor CP1	多角形
18	SP91906631021	9mm × 19	HK USP compact	多角形
19	SP91906641021	9mm × 19	HK USP compact	多角形
20	SP9190306912	9mm × 19	HK USP compact	多角形
21	SP9190335911	9mm × 19	CZ 75B	矩形
22	SP9190420933	9mm × 19	CZ 75B	矩形
23	SP9190403932	9mm × 19	CZ 75B	矩形
24	VAH6082	9mm × 19	Smith & Wesson 5904	矩形
25	VAH6087	9mm × 19	Smith & Wesson 5904	矩形
26	VAH6095	9mm × 19	Smith & Wesson 5904	矩形
27	068986	9mm × 19	Walther P99	矩形
28	069006	9mm × 19	Walther P99	矩形
29	068989	9mm × 19	Walther P99	矩形
30	NPA994266	9mm × 19	Smith & Wesson MP 9C	矩形
31	NPA994269	9mm × 19	Smith & Wesson MP 9C	矩形
32	NPA994270	9mm × 19	Smith & Wesson MP 9C	矩形

(二)子彈：我國 205 兵工廠 2012 年製之 TC75 型 9mm ×19 子彈及內政部

警政署 2012 年採購之警用 9mm ×19 Luger 子彈。(如圖 1)



圖 1 試射用 9mm × 19 子彈：205 兵工廠子彈（左）及警用子彈（右）

(三)儀器設備及材料：日本 JOEL JSM-5410LV 掃描電子顯微鏡，英國 Oxford 6993 LINK ISIS X-ray 能譜分析儀，日本 JOEL SemAfore 數位影像掃描軟體，美國 SPI-Module 鍍碳機，英國 QUORUM Q150R 鍍碳機，臺灣 DELTA D80 超音波震盪儀。鋁製樣品座（高度 1cm、直徑 1cm）、

美國 EMS 8mm 雙面碳膠、慣性拔彈器、III A 級防彈衣（作為回收彈頭使用）、鎢鋼筆、日本片山試藥株式會社 Acetone 試藥一級、清槍銅刷、清槍棉布等。

二、實驗方法

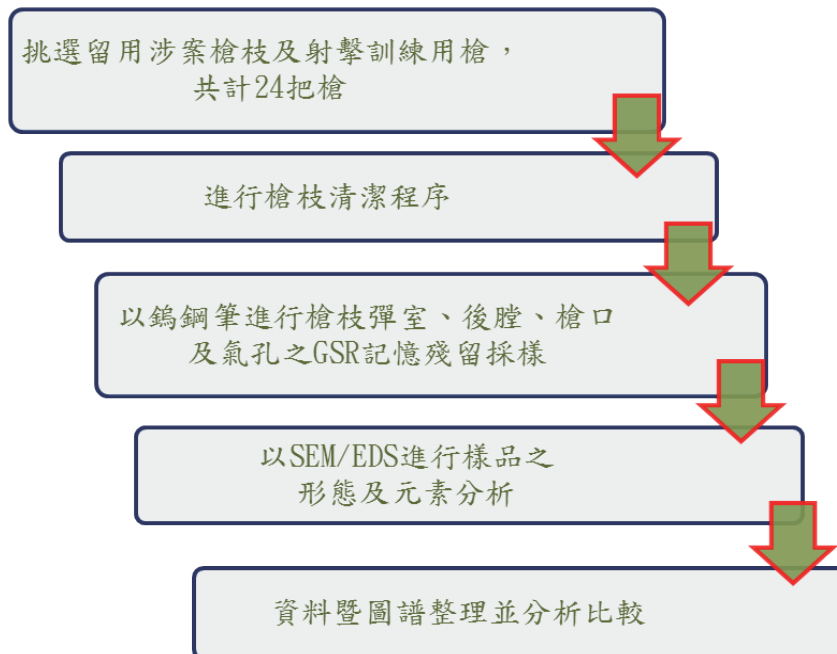


圖 2 實驗主軸一流程圖

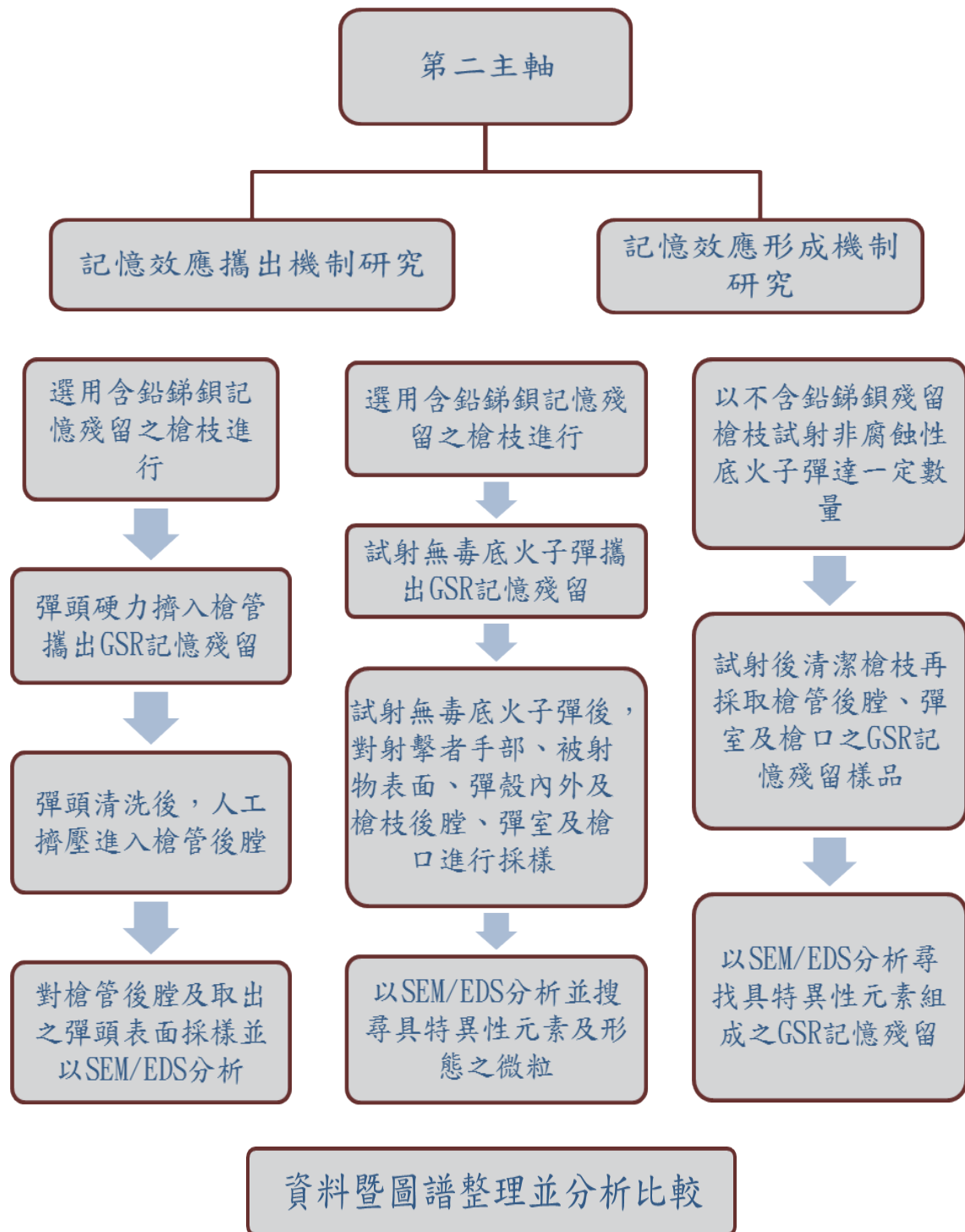


圖 3 實驗主軸二流程圖

(一) 鋁製樣品座清潔

鋁製樣品座先經清潔劑刷洗後，以清水沖去殘餘清潔劑，再依序以去離子水及丙酮分別進行超音波震盪 10 分鐘待乾後放於乾淨培養皿中備用。

(二) 實驗槍枝清潔程序

採用一般常見之清潔槍枝程序，以 BIO 武器快促保養油配合清槍刷擊清槍棉布擦拭槍管，清潔完畢後再依序以離子水及丙酮分別進行超音波震盪 10 分鐘，取出待乾後備用。

(三) 實驗槍枝射擊殘跡記憶效應殘留分析之採樣

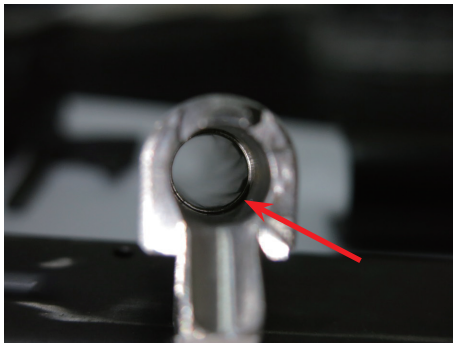


圖 4 槍管後膛採樣位置圖

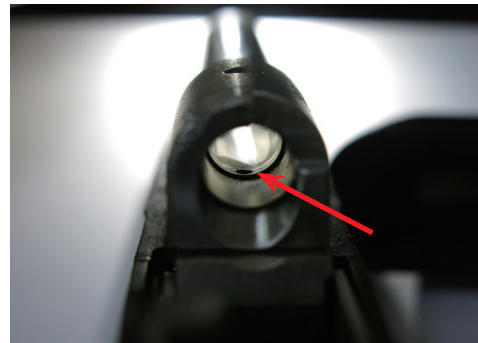


圖 5 Vektor 槍枝之氣孔位置

1. 清潔後之槍管以乾淨之鎢鋼筆進行採樣，分別採取彈室、後膛、槍口及氣孔樣品，並轉黏於貼有雙面碳膠之鋁製樣品座上。
 2. 彈室樣品，刮取時以彈室內表面為主，將內表面 360° 分成 3 等分，0°-120°、120°-240°、240°-360°，分三次刮取轉黏成同一樣品，即為彈室樣品 (C)。
 3. 後膛樣品，在彈室與坡膛連接處有一環形帶，此為坡膛起始處 (如圖 4)，後膛採樣以此環形帶為主。同樣將之分為 3 等分，以鎢鋼筆分三次轉黏成同一樣品，即為後膛樣品 (B)。
4. 槍口樣品，因實驗分析挑選之半自動手槍均具有來復線特徵，槍口樣品採樣位置分為導轉側及循跡側。分別以鎢鋼筆採取槍口兩處之陰線及陽線交接處樣品，分別為槍口導轉側樣品 (M1) 及槍口循跡側樣品 (M2)。
 5. 氣孔樣品，因實驗挑選採用之 Vektor CP1 槍枝，其槍管後膛近彈室處 6 點鐘方向有一導引燃氣之氣孔裝置 (如圖 5)，故此槍枝另外針對氣孔處用鎢鋼筆採取氣孔樣品 (A)。
 6. 槍管背景控制樣品，因挑選之槍枝廠牌型號均不同，每一廠牌型號挑選一槍枝，針對槍管外部上方 12 點鐘遠離槍口位置 (如圖 6)，先以磨砂紙將該處鍍膜層磨除至顯露出內層後，以棉棒沾取丙酮對該處進行清潔，再以鎢鋼筆進行採樣，為槍管控制樣品 (BK)。



圖 6 槍管背景控制樣品採樣位置

7. 槍管採樣位置如圖 7 所示。

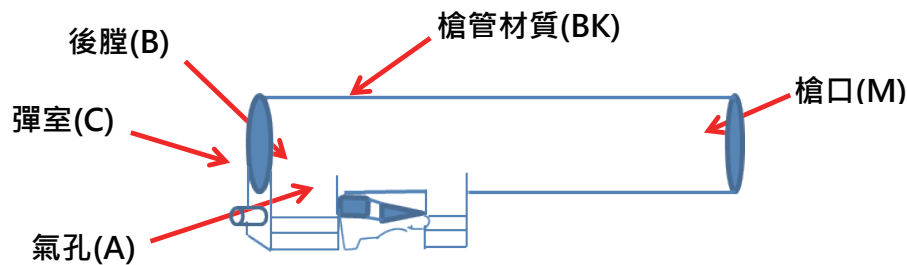


圖 7 槍管採樣位置示意圖

(四) 以人工硬力將彈頭擠入編號槍管後膛採樣

1. 將 205 兵工廠子彈以拔彈器利用慣性將彈頭拆卸拔除後，把彈頭依序以清水及丙酮洗淨並以雙面碳膠對彈頭側邊底部約 1/3 高度處採樣，作為空白樣品 (05PBK、18PBK)。再人工施力分別將彈頭擠入經分析確認有鉛銻銻元素殘留之編號 05 及 18 槍枝後膛約 1 公分，使彈頭側面產生來復線刮擦痕。取出彈頭，以雙面碳膠鋁座直接黏取彈頭上來復線刮擦痕位置，供為分析樣品

(05PL1、18PL1)。

2. 另就彈頭擠入之槍管後膛，以竹籤包裹透明膠帶，再於透明膠帶外黏上雙面碳膠，以此裝置伸入後膛內黏取採樣，完畢後再將雙面碳膠轉黏於鋁製樣品座上，為後膛樣品 (05PB1、18PB1)。

(五) 無毒底火子彈試射採樣

1. 選取經分析確認含有鉛銻銻元素殘留之編號 20、23 槍枝，經清潔後由兩名射手分別試射，每槍各射一發無毒底火子彈 (警用 9mm 子彈)，試射前採取射手右手虎口空白樣品 (20SHB、

- 23SHB)。試射距離 3 公尺，以 A4 白紙為被射物，於被射物後懸掛警用防彈衣協助回收彈頭，配置情形如圖 8。
2. 試射完畢後，射手立即離開射擊區域，採取試射後虎口樣品供分析（20SHA、23SHA）。
 3. 擊發之彈殼、彈頭及 A4 白紙被射物，分別保存後攜回實驗室採取彈殼內部樣品（20SCI、23SCI）、彈殼外部樣品

（20SCO、23SCO）、被射物表面樣品（20SS、23SS）和彈頭來復線刮擦痕周圍樣品（20SB、23SB），供分析之用。

4. 試射完畢，槍枝經清潔後，以鎢鋼筆對槍管之彈室、後膛、槍口導轉側及循跡側進行採樣並進行分析。分別為編號 20 及 23 之 SGC、SGB、SGM1、SGM2。

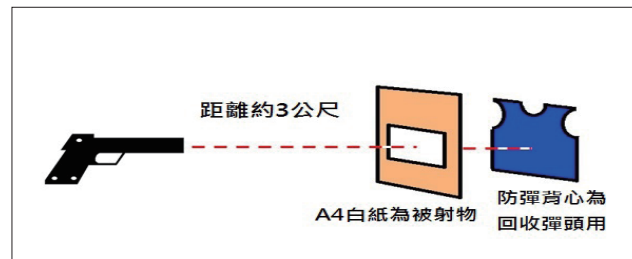


圖 8 試射器材配置示意圖

(六) 非腐蝕底火子彈記憶效應形成研究試射及採樣

1. 選取經分析確認不具鉛銻鎳元素殘留之編號 26、29 槍枝，由 C、D 兩名射手進行 205 兵工廠製非腐蝕底火子彈試射，每槍各射擊 20 發子彈。
2. 回收 A3 白紙被射物，攜回實驗室後於被射物表面採樣（26MS、29MS）。另清潔試射槍枝後，以鎢鋼筆採取槍管彈室、後膛、槍口導轉側及循跡側樣品進行分析，分別為編號 26 及 29 之 MCC、MB1、MM1、MM2。

(七) 樣品 SEM/EDS 分析

1. SEM/EDS 加速電壓 20KV、工作距離

15mm，觀察樣品之二次電子像，以 SemAfore 軟體紀錄並儲存，樣品分析前均進行銅片校正。

2. 以背向散射電子像的 compo 模式，人工搜尋畫面中較明亮之區域，進行 X 射線能譜分析，以面蒐集及點蒐集完畢後，輔以人工辨識方式進行圖譜定性，以確定其元素組成。

肆、結果與討論

一、各廠牌槍枝射擊殘跡記憶殘留分析結果

本實驗分析槍枝共計 24 把，其中本校留用之半自動手槍共計 15 把，計有五種

廠牌不同型號槍枝，分別為 Beretta 92FS、Glock 19、Vektor CP1、HK USP 及 CZ 75B 等五種；本校射擊課程訓練用半自動手槍共計 9 把，計有兩種廠牌三種不同型號槍枝，分別為 Smith & Wesson MOD 5904、Walther P99 及 Smith & Wesson MP9C 等三種。

採樣後之樣品進行 SEM/EDS 分析，搜尋標的以鉛、銻、銀三種元素為主，因這三種元素為目前國內常見非法持有之非腐蝕性底火子彈的射擊殘跡之特異性元素。此 24 把槍枝樣品分析結果，在採集之彈室、後膛、槍口和氣孔等位置均可測得含有鉛、銻、銀元素存在，而此三類元素經採取研究之各廠牌槍管材料樣品，經分析確認並非

槍管之碳鋼製造時添加之元素（古錦松，2001），而為非腐蝕性底火的特異性射擊殘跡，同時亦可證明記憶效應殘留的現象確實存在所分析之槍枝中。

然這 24 把槍枝中所測得之記憶效應現象並不相同，不同槍枝間記憶效應殘留的元素具有差異，從殘跡分析出不同元素成分顯示槍枝曾經使用過不同底火成分之子彈；甚至同一把槍枝中，在不同部位（如彈室及後膛）測得之殘留元素亦具有差異性。（茆璠鵬，孟憲輝，2013）

以下就不同廠牌槍枝之分析結果，分別進行討論。

表 2 編號 01-06 槍枝樣品射擊殘跡記憶殘留元素分析結果總表

槍枝及位置	測得元素		
	主要元素	次要元素	少量元素
01B1	Pb Ba Fe Cr Cu Ca Al K	Sr Zn Ni Cl S	Sb Co
01C1	Pb Ba Fe Cr Cu Zn Ca Al K	Ni S Cl	Sb
01M1	Pb Ba Fe Cr Cu Zn Ca K	Sb Sr Fe Cl S	Zn Al
01M2	Ba Fe Cr Cu Zn Ca K	Pb Al S	Sb Ni Si Cl
02B1	Ba Fe Cr Cu Zn Ca Al K	Pb Sb Ni S	Si
02C1	Ba Fe Cr Cu Zn Al K Si S	Pb Sb Ni Cl	
02M1	Pb Ba Fe Cr Cu Zn Al K Si	Ca Cl S	Sb
02M2	Ba Fe Cu Ca Zn Al K Si S	Pb	Sb Cr
03B1	Pb Ba Fe Cr Cu Zn K Al	Sb	Mn Si Cl
03C1	Pb Fe Cr Cu Al	Sb Ba Ca Si	Zn K
03M1	Pb Sb Ba Sr Cu	Cr Zn	Fe K
03M2	Pb Sb Ba Cr Cu Sr Zn	Al K Co	
04B1	Pb Sb Ba Fe Cr Cu	Zn Al Mn	Ni Si
04C1	Pb Sb Ba Fe Al	Cr Cu Mn	Ni S
04M1	Pb Sb Ba Fe Cu Al K	Sr	
04M2	Pb Sb Ba Al Cu Fe K Sr		Zn
05B1	Pb Sb Ba Fe Cu Zn	Al K	P
05C1	Pb Ba Fe Cr Al	Cu K	Ni Mn
05M1	Pb Sb Ba Cu Zn Sr	Al K	Ni
05M2	Pb Sb Ba Fe Cr	Zn Al	Ni
06B1	Pb Sb Ba Fe Cu Zn Al	K	
06C1	Pb Sb Ba Fe Cr Cu Zn	Sr Ni Mn	
06M1	Pb Sb Ba Fe Cu Zn Sr	Cr Al K Cl	Co Ni Mn Na
06M2	Pb Sb Ba Fe Sr Cu	Cr Al K	

表 3 編號 15-20 槍枝樣品射擊殘跡記憶殘留元素分析結果總表

槍枝及位置	測得元素		
	主要元素	次要元素	少量元素
15B1	Pb Sb Ba Fe Zn Cu Al K	Sr Cl Si	
15C1	Pb Sb Ba Fe Cr Cu Al	Sr Zn Ni	Mn Si W
15M1	Pb Sb Ba Fe Cr Cu Ni Al Si	Zn K Cl	
15M2	Pb Sb Ba Fe Cr Cu Ni Al Si	Zn Cl	K W
15A1	Pb Sb Ba Fe Cu Al	Cr Mn Si	
16B1	Pb Sb Ba Fe Zn Cu Ni K Si	Cr	Al
16C1	Pb Sb Ba Fe Cr Cu Ni Al Si	Zn K	Mg P W
16M1	Pb Sb Ba Fe Cr Cu Ni Si	Zn K	Ca Al
16M2	Ba Fe Cr Ni	Pb Ca Al	Sb K Si
16A1	Pb Sb Ba Fe Cr Cu Ni Al Si		Sr Co K W
17B1	Pb Sb Ba Fe Cu Ni Al K Si	Cr Zn	W
17C1	Pb Sb Ba Fe Cr Cu Ni Al W	Zn	Si
17M1	Pb Sb Ba Fe Cr Cu Ni Al	K Si W	Zn Cl
17M2	Pb Ba Fe Cr Cu Ni Si	Sb	Ca Al W
17A1	Pb Sb Ba Fe Cr Cu	Ni Si Sn	Sr Zn Al K W
18B1	Pb Sb Ba Fe Zn Cu Al	Cr Sn S	Ni Si W
18C1	Pb Sb Ba Fe Zn Cu Al	Cr K Si	Sr Ti
18M1	Pb Sb Ba Fe Zn Cu Al		Si
18M2	Pb Sb Ba Fe Zn Cu	Al Si W	Na K
19B1	Pb Sb Ba Fe Zn Cu Al	Cr S	Mn Ti Si
19C1	Ba Fe Cr Cu Mn Ti	Pb Sb Zn Al K Si S	V Ca
19M1	Pb Sb Ba Fe Cr Zn Cu Al	Sr K Si	Sn
19M2	Pb Sb Ba Fe Cr Cu	Zn K	V Al S
20B1	Pb Sb Ba Fe Zn Cu Al Si		Sr K S
20C1	Pb Sb Ba Fe Sr	Zn Al	Cr Mn Si
20M1	Pb Sb Ba Fe Zn Cu Al	Cr Sr	Si S
20M2	Pb Sb Ba Fe Sr Zn Cu Al	Cr	

表 4 編號 21-26 槍枝樣品射擊殘跡記憶殘留元素分析結果總表

槍枝及位置	測得元素		
	主要元素	次要元素	少量元素
21B1	Pb Sb Ba Fe Zn Cu Sn Al	Cr Sr	Ni S Si W
21C1	Pb Sb Fe Cr Cu Al	Ba Sr Zn W	K Si
21M1	Pb Sb Ba Fe Cr Zn Cu Al W	Sn	Sr Ni
21M2	Pb Sb Ba Fe Cr Cu Sn Al W	Zn	Ti Cl Si
22B1	Pb Sb Ba Fe Zn Cu Al	Si W	
22C1	Pb Sb Ba Fe Cr Cu Al	Zn Si W	Mn Ni Sn
22M1	Pb Sb Ba Fe Cr Cu Al	Zn Sn Si W	Sr
22M2	Pb Sb Ba Fe Cr Zn Cu Al	Sn Si	Ti W
23B1	Pb Sb Ba Fe Sn Zn Cu Al W		Cr Mn Sr Ni
23C1	Pb Sb Ba Fe Sn Zn Cu Al	Cr Sn W	Mn
23M1	Pb Sb Ba Fe Cr Sr Sn Zn Cu Al		Mn
23M2	Pb Sb Ba Fe Cr Sr Cu Al	Zn	W
24B1	Fe Cr Zn Cu Al K Ca Si S	Pb Mn Ni	Ba Na Mg W
24C1	Fe Cr Zn Cu K Ca Al Si S		Cl
24M1	Fe Cr Cu K Ca Al Si S Cl		Zn Ni Na
24M2	Fe Cr Cu Al K Ca S	Mn Si W	Ni Zn
25B1	Fe Cr Zn Cu Al K Ca Si S		Mn Ni Ti Mg Cl
25C1	Fe Cr Cu K Ca S	Zn Al Si W	Mn Ni
25M1	Fe Cr Cu Al K Ca Si S	Zn	Mn Na Mg Cl
25M2	Fe Cr Cu Al K Ca Si S	Na Cl	Zn Mg
26B1	Fe Cr Zn Cu Al K Ca S	Mn Si W	Ni
26C1	Fe Cr Zn Cu Al K Ca Si S	Cl	Mn W
26M1	Fe Cr Cu Ni Al K Ca Si S	Mn Cl	Zn W
26M2	Fe Cr Cu Al K Ca Si	Na S Cl W	Mn Zn Ni

表 5 編號 27-32 槍枝樣品射擊殘跡記憶殘留元素分析結果總表

槍枝及位置	測得元素		
	主要元素	次要元素	少量元素
27B1	Fe Cr Zn Cu Ni Al K Ca Si S	Ba Mn	Ti Na
27C1	Fe Cu Al K S	Cr Mn Zn Ni Ca Si Cl W	Ti
27M1	Fe Cu Al K Ca Si S	Ba Cr Zn Ni Na Mg Cl	Pb W
27M2	Ba Fe Zn Cu Al K Ca Na Si S	Cr Ni Mg Cl	Mn
28B1	Fe Cr Zn Cu Ni Al K Ca Si S		Mn
28C1	Fe Cr Mn Cu Ni Al K Ca S	Cu Si	W
28M1	Fe Cr Cu Ni Al K Ca Na Si S	Ba Mn Zn Cl	W
28M2	Fe Cr Mn Cu Ni Al K Ca Si S	Ba Zn Na Cl Mg	W
29B1	Fe Cr Zn Cu Al K Ca Si S	Ni	Ba
29C1	Fe Cr Cu Ni Al Si S	Zn K Ca	Mn W
29M1	Fe Cr Cu Ni Al K Ca Si S	Ba Zn W	
29M2	Fe Cr Cu Ni Al K Ca Si S	Zn W	Ba Mn Cl
30B1	Fe Cr Zn Cu Al K Ca Si S	Ni	Mn W
30C1	Fe Cr Mn Zn Cu Al K Ca Si S	Ni	W
30M1	Fe Cr Mn Zn Ni Al K Ca Si S		Ci W
30M2	Fe Cr Mn Zn Cu Ni Al K Ca Si S	W	
31B1	Fe Cr Zn Cu Al K Ca Si S		Ba Mn Ni
31C1	Fe Cr Mn Zn Cu Ni Al K Ca Si S	Mg	W
31M1	Fe Cr Mn Zn Cu Al K Ca Si S	Ba Ni W	
31M2	Fe Cr Zn Cu Al K Ca Si S	Mn Ni W	Mg
32B1	Fe Cr Zn Cu Ni Al K Ca Si S	Ba Mn	Mg
32C1	Ba Fe Cr Zn Cu Al K Ca Si S		Mn Ni
32M1	Ba Fe Cr Mn Zn Cu Ni Al K Ca Si S		Ti
32M2	Fe Cr Mn Zn Cu Al K Ca Si S	Ba Ni	Ti

(一) Beretta 92FS 槍管內採樣分析結果

編號 01、03、05 槍枝為具矩形來復線之 Beretta 92FS 槍枝，各槍枝樣品分析結果如表 2。

以編號 03 槍枝為例，後膛樣品分析結果含有鉛、銻、鋇、鐵、鉻、鋅、銅、錳、鋁、鉀、氯、鎢等元素。其中鉛、銻、鋇元素為非腐蝕性底火的特異性射擊殘跡，而

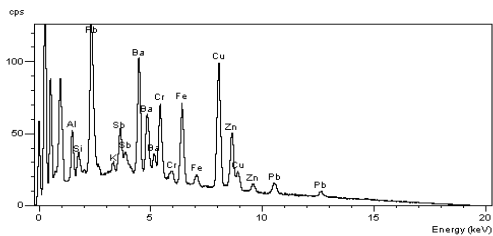


圖 9 樣品 03B1-001 X-ray 能譜圖

鐵、鉻、錳元素為槍管背景成分，鋅及銅元素則應來自鋅、銅合金之黃銅彈殼或彈頭黃銅包衣殘跡，鋁、鉀等元素研判係來自底火藥之鋁粉、硝酸鉀等之殘跡（李協昌，孟憲輝，2002；吳順平、孟憲輝，2000；孟憲輝，1996；Martiny et al，2008；Dalby, Butler, and Birkett，2010），鎢則應來自採樣用之鎢鋼筆。後膛分析位置 01 及彈室分析位置 01 均測得含鉛、銻、鋇元素之殘跡（如圖 9、圖 10），其餘元素在兩部位測得之結果相似。

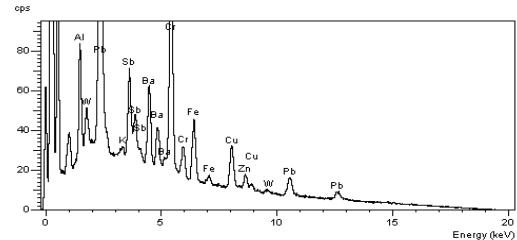


圖 10 樣品 03C1-001 X-ray 能譜圖

(二) Glock 19 槍管內採樣分析結果

編號 02、04、06 為具多角來復線之 Glock 19 槍枝，各槍枝樣品分析結果如表 2 所示，不論在各槍枝後膛、彈室、槍口等部位，都可測得具有鉛、銻、鋇元素之殘跡存在。

以編號 04 槍枝為例，槍管各部位均同時測得鉛、銻、鋇元素殘跡存在，後膛分析除鉛、銻、鋇元素外，後膛尚測得鐵、鉻、鋅、銅、鎳、錳、鋁、矽、鎢元素，彈室則測得鐵、鉻、銅、鎳、錳、鋁、硫、鎢等元素，鐵、鉻、錳、鎳元素可確認為槍管材質。其餘如鋅、銅元素應來自彈頭、彈殼製造材質或底火中之氧化鋅殘跡，鋁、矽元素研判

為來自底火之燃料矽化鈣、鋁粉等燃燒後殘跡，鎢元素則來自使用之取樣工具鎢鋼筆。（李協昌，孟憲輝，2002；Martiny et al，2008；Dalby, Butler, and Birkett，2010）

編號 04 槍枝之槍口樣品中，亦有明顯之鉛、銻、鋇元素存在，槍口樣品與後膛及彈室樣品分析所得元素類似，唯槍口樣品中測得鋇元素，研判來自底火中添加之氧化劑硝酸鋇燃燒後之殘跡。（如圖 11、圖 12）

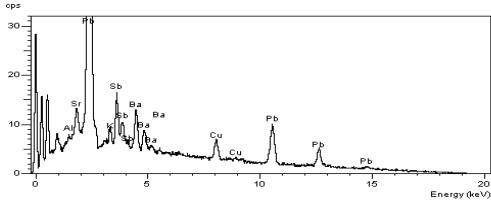


圖 11 樣品 04M1-004 X-ray 能譜圖

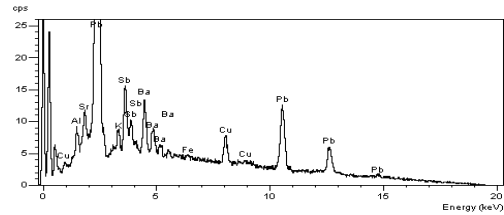


圖 12 樣品 04M2-001 X-ray 能譜圖

(三) Vektor CP1 槍管內採樣分析結果

編號 15、16、17 為 Vektor CP1 具多角來復線槍枝，Vektor CP1 屬氣體延遲後擊式槍枝，於槍管後膛接近彈室的 6 點鐘方向有一導引火藥爆炸燃氣用之氣孔，一般進行槍枝清潔時，此氣孔部分並不易清潔，故亦針對氣孔部分採樣進行分析。各槍枝樣品分析結果如表 3 所示，結果顯示在不同槍枝之後膛、彈室、槍口、氣孔等部位，均可測得含有鉛、銻、鉬元素之殘跡存在，特別於槍枝後膛及彈室部分，鉛、銻、鉬元素訊號相對強度均較他種槍枝中此三種元素之訊號強烈。以編號 15 槍枝為例，槍枝各部位樣品分析結果，於後膛樣品中均測得含有鉛、銻、鉬、鐵、鋁、鋅、銅、鋁、鉀、氯、矽等元素，鉛、銻、鉬元素為非腐蝕性底火特

異性殘跡，而鐵、鉻、錳、鎳元素，經分析槍管材料樣品後可確定來自槍管材質，與彈室樣品不同的是後膛樣品中多了鉀元素，鉀元素研判來自底火藥中使用之硝酸鉀（如圖 12、圖 13）

針對 Vektor CP1 槍枝之氣孔進行採樣，分析結果顯示均可測得含有鉛、銻、鉬特異性射擊殘跡元素存在。編號 17 槍枝氣孔樣品中測得少量鋁及鋁元素及少量錫元素，推斷錫元素應來自含錫之彈頭（Meng and Chen, 2006）或 Berdan 底火之錫箔殘跡（李協昌、孟憲輝，2002），代表此槍枝曾經射擊過彈頭含有錫成分之子彈或 Berdan 底火子彈的可能性較高，又 Berdan 底火為歐系國家較常使用之底火類型。（孟憲輝，1996；Dalby, Butler, and Birkett, 2010；Hogg, 2013）

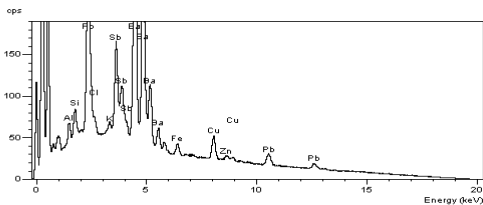


圖 12 樣品 15B1-003 X-ray 能譜圖

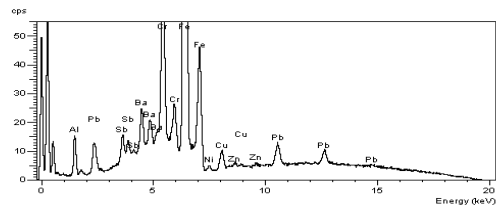


圖 13 樣品 15C1-003 X-ray 能譜圖

(四) HK USP 槍管內採樣分析結果

編號 18、19、20 槍枝為具多角來復線 HK USP 槍枝，各槍枝樣品分析結果如表 3 所示，結果顯示不論在槍枝彈室、後膛、槍口樣品中，均可測得含有鉛、銻、鋇元素之 GSR 記憶殘留存在。(如圖 14、圖 15)

以編號 18 槍枝為例，各部分測得之元素成分略有不同，如以下分述。

在後膛樣品分析位置 02 及 05 中測得錫元素(如圖 16、圖 17)，餘位置測得元素為鉛、銻、鋇、鐵、鉻、鋅、銅、錫、鎳、鋁、矽、硫、鎢等元素，其中錫元素應來自 Berdan 底火中使用於覆蓋底火之錫箔(李協昌，孟憲輝，2002)，經火藥爆炸燃燒後殘留，或含錫成分之彈頭(Meng and Chen，2006)，經射擊後殘留在槍管內，而分析位

置 05 測得之錫元素特徵譜峰明顯較高，硫元素可能來自底火藥中使用之硫化銻殘跡。

(Dalby, Butler, and Birkett, 2010)

在彈室樣品測得少量鈦元素及少量鋇元素，餘元素與後膛類似，鈦元素為無毒底火中用以取代硝酸鋇之氧化劑二氧化鈦，添加氧化劑目的係為使燃料能夠在底火帽中有限的空間內有足夠的含氧等級(oxygen level)使其能完全燃燒(Hogg, 2013)；而鋇元素研判係來自無毒底火使用之硝酸鋇燃燒殘跡，此亦為底火之氧化劑。(李協昌，孟憲輝，2002；Dalby, Butler, and Birkett, 2010)

槍口導轉側及循跡側樣品中，則分析測得鉛、銻、鋇、鐵、鉻、鋅、銅、鋁、鈉、鉀、矽、鎢等元素。

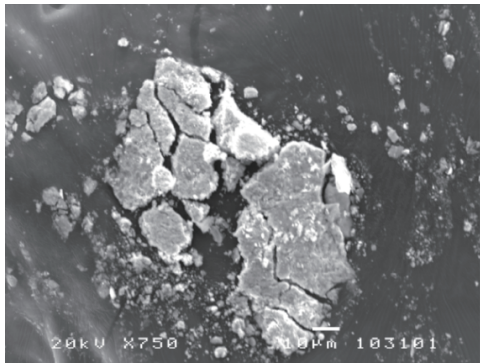


圖 14 樣品 20M1-003 外觀型態

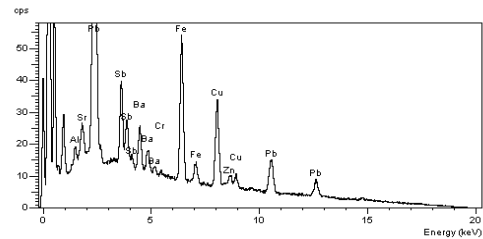


圖 15 樣品 20M1-003 能譜圖

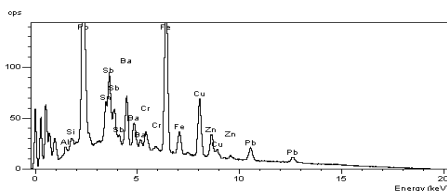


圖 16 樣品 18B1-002 能譜圖

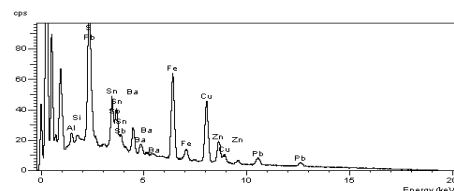


圖 17 樣品 18B1-005 能譜圖

(五) CZ 75B 槍管內採樣分析結果

編號 21、22、23 為 CZ 75B 具矩形來復線槍枝，各槍枝樣品分析結果如表 4 所示，結果顯示，不論在槍枝後膛、彈室及槍口兩側樣品中，可測得含有鉛、銻、銀元素之顆粒或片狀殘跡存在，顯示記憶效應確實存在於 CZ 75B 型槍枝之槍管內。

以編號 23 槍枝為例，在採樣之各部位元素均可測得鉛、銻、銀、鐵、鉻、鋁、鋅、銅、鋁及鎢等元素，分別在後膛及彈室中測得微量的錳及鎳，錫元素則在後膛、彈室及槍口導轉側中測得；其中鉛、銻、銀為特異性射擊殘跡元素，鐵、鉻、錳、鎳經與槍管材料樣品分析結果比較後確認為來自槍管材質，鋁及鋁元素可能來自底火中之氧化劑硝酸鋁及燃料鋁粉經爆炸後的殘跡。（孟憲輝，1996；Dalby, Butler, and Birkett, 2010；Hogg, 2013）

此槍枝在彈室、後膛及槍口導轉側均偵測到明顯之錫元素特徵譜峰（如圖 18、圖 19），錫元素應來自覆蓋底火藥之錫箔，當

底火爆炸燃燒錫箔後，產生火花通過導火孔引燃發射火藥，錫箔殘跡一同混入其中，然後被爆炸燃氣一併帶出，同時附著於彈室、後膛及槍口表面。此槍枝在三個位置均發現錫元素存在，顯示槍枝曾經使用過具有錫箔之子彈，最有可能的即是 Berdan 底火的子彈，且曾經射擊過一定的數量以上才能夠在槍口部位亦留下明顯之錫元素。而在槍口兩側樣品中，僅在導轉側樣品（M1）發現錫元素，循跡側樣品（M2）並沒有發現。推測此現象應該與涉案留用前使用之子彈彈頭有關，常見之子彈彈頭內核為鉛彈頭，根據文獻顯示，部分廠牌子彈之彈頭內核為鉛、銻、錫之合金，部分彈頭包衣除常見之鋅、銅合金外，表層鍍有一層含錫成分之材料，當射擊此類子彈，彈頭通過槍管時依循來復線導轉側前進並產生旋轉，來復線在彈頭上產生刮擦，彈頭上含錫元素之包衣或彈頭便因刮擦而附著在來復線上，又導轉側造成之刮擦較明顯，故測得之錫元素譜峰亦較明顯，形成此編號 23 槍枝中槍口兩側觀察到之現象。（Meng and Chen, 2006）

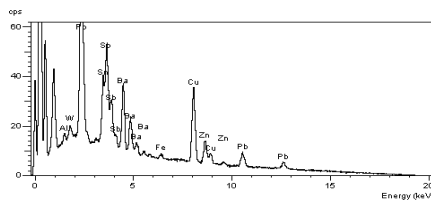


圖 18 23B1-001 X-ray 能譜圖

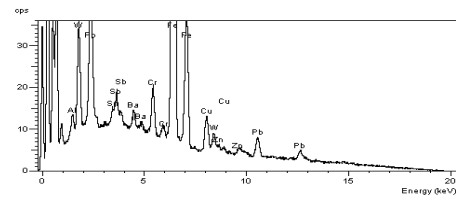


圖 19 23C1-003 X-ray 能譜圖

(六) Smith & Wesson MOD 5904 槍管內採樣分析結果

編號 24、25、26 為具矩形來復線之 Smith & Wesson MOD 5904 槍枝，各槍枝樣品分析結果如表 4 所示。槍枝為本校射擊課程訓練用槍，早期曾使用非腐蝕底火子彈實施射擊訓練，後來長期使用無毒底火子彈進行射擊訓練，其槍管內各部位樣品分析結果顯示，不論在槍枝彈室、後膛、槍口樣品中，均未測得同時含有鉛、銻、銀元素之射擊殘跡記憶殘留存在（如圖 20、圖 21），測得之主要元素以鐵、鉻、鋅、銅、鋁、鉀、鈣、矽及硫為主，少數分析位置除主要元素外亦測得含有錳、鎳、氯、鈉、鎂、鈦等元素，其中鐵、鉻、錳、鎳元素為槍管材質，可將之剔除，餘元素可推測長期以無毒底火子彈

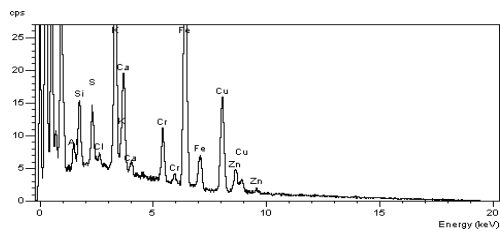


圖 20 24C1-005 X-ray 能譜圖

射擊過後，槍枝內部殘留之元素種類。

以編號 26 槍枝為例，槍枝各部位樣品經 SEM/EDS 分析結果，各部位測得元素均相似，所含元素有鐵、鉻、錳、鎳、鋅、銅、鋁、鉀、鈣、矽、硫、氯、鈉等元素，其中鋅及銅元素應來自彈殼材料、彈頭包衣或底火添加之氧化鋅，而鉀、硫元素則可能來自底火添加氧化劑如硫酸鉀及硝酸鉀等，鋁、鈣、矽元素則應來自底火中作為燃料用之鋁粉、矽化鈣等來源，經過射擊之高溫高壓後，燃燒後留於槍管內部形成記憶效應殘跡。

在此槍枝樣品並未測得含有鉛、銻、銀元素之殘跡，顯示此槍枝雖曾經射擊過非腐蝕底火子彈但經過長時間使用無毒子彈射擊，使原本鉛、銻、銀元素殘跡被覆蓋或帶出而漸漸消失至無法被測得。

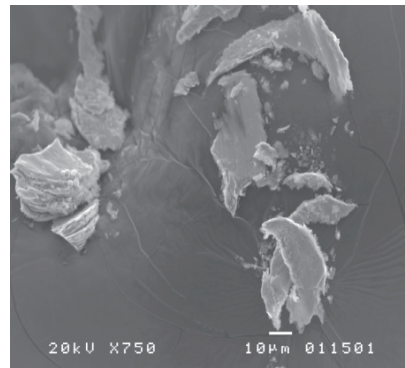


圖 21 24C1-005 SEI 圖

(七) Walther P99 槍管內採樣分析結果

編號 27、28、29 為具矩形來復線之 Walther P99 槍枝，為本校射擊課程訓練用

槍，各槍枝樣品分析結果如表 5 所示。因槍枝長期使用無毒底火子彈，分析結果未測得同時含有鉛、銻、銀元素之情形，如圖 22、圖 23；槍枝內採樣分析所得元素為鐵、鉻、錳、鎳、鋅、銅、鋁、鉀、鈣、矽、硫，

部分亦測得鈉、氯、鎂等元素；其中鋅、銅元素為子彈之彈殼材質，鉀、硫元素可能來自底火使用之硫酸鉀，鈣、矽、鎂元素則可能來自底火藥之矽化鈣、鎂粉等燃料，均為無毒底火子彈射擊後常見之殘跡成分元素

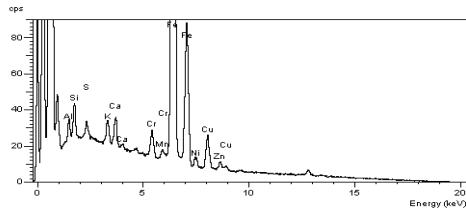


圖 22 27B1-004 X-ray 能譜圖

(李協昌，孟憲輝，2002；Martiny et al，2008；Dalby, Butler, and Birkett，2010)。由結果顯示記憶效應確實存在於 Walther P99 槍枝中。

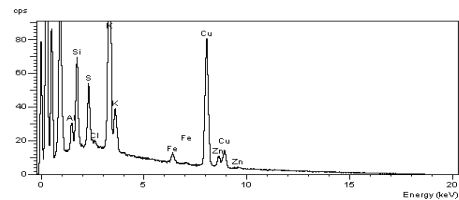


圖 23 27C1-003 X-ray 能譜圖

(八) Smith & Wesson MP 9C 槍管內採樣分析結果

編號 30、31、32 為具矩形來復線之 Smith & Wesson MP 9C 槍枝，為我國警方新型之刑警用槍枝，槍身較短小，取其攜帶方便及操作快速之優點。

各槍枝樣品分析結果如表 5 所示，各部位測得元素大多為鐵、鉻、錳、鋅、銅、鎳、鋁、鉀、鈣、矽、硫，及些許的氯、鈉及鎂元素，由 MP9C 槍管材料樣品之元素分析結果，可排除鐵、鉻、錳、鎳等槍管材質來源，研判其餘鋅、銅、鋁、鉀、鈣、矽、硫、氯、鈉、鎂等元素為來自無毒底火子彈內火藥殘跡、彈殼製造材質、槍管材質及其他不明來源之混合殘跡。

在部分位置如編號 31 槍枝後膛樣品分析位置 03 單獨測得鋇元素 (如圖 24、圖 25)，此可能來自於非腐蝕性底火殘跡，亦可能來自外界環境，但因並未同時測得鉛及

銻元素存在，故係未符合非腐蝕底火之特異性殘跡標準。以編號 32 槍枝為例，測得之元素均類似，可測得鋇、鐵、鉻、錳、鋅、銅、鎳、鋁、鉀、鈣、矽、硫等元素，其中之鋅、鋁、鉀、鈣、矽、硫及後膛分析位置 05 測得之微量鎂元素 (如圖 26) 及槍口導轉側分析位置 03 及循跡側分析位置 02 測得之鈦元素 (如圖 27)，均來自無毒底火常用之氧化劑如硫酸鉀、二氧化鈦，燃料如矽化鈣、鋁粉、鎂粉等來源，亦證實在此槍枝經長期使用無毒底火子彈射擊後，已在槍管內各部位形成明顯之記憶效應。

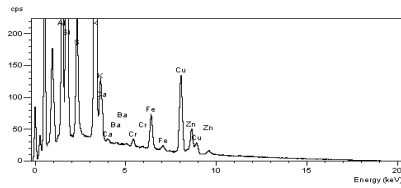


圖 24 31B1-003 X-ray 能譜圖

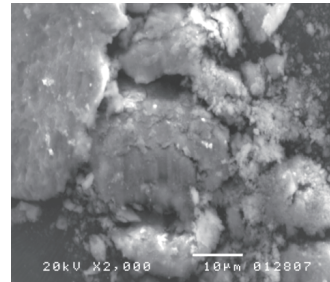


圖 25 31B1-003 SEI 圖

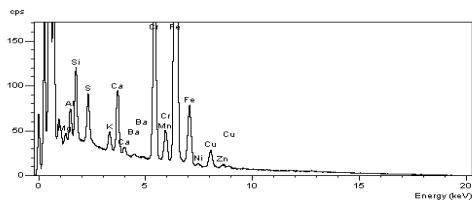


圖 26 32B1-005 X-ray 能譜圖

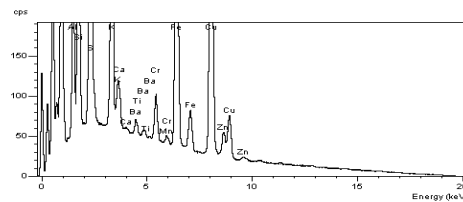


圖 27 32M2-002 X-ray 能譜圖

二、彈頭硬力擠入後膛採得樣品分析

在常溫常壓下模擬射擊時彈頭進入槍管後膛之情形，將彈頭以人工方式擠入槍管並採樣分析。結果發現，原本存在於後膛表面之鉛、錫、鋇記憶殘留，因彈頭擠壓摩擦，轉移到彈頭表面而被測得。彈頭擠壓進入槍管再退出後之外觀如圖 28 及 29。

分析結果顯示，彈頭擠入過程確可將後

膛記憶殘留元素帶出，此現象研判與硬力擠入有關。因槍管來復線陽線直徑較彈頭直徑小，彈頭以硬力擠入時，來復線對彈頭表面產生刮擦，使記憶於後膛表面之元素，因緊密刮擦而轉移至彈頭。後膛表面因擠壓之故，表層記憶殘留脫落，使後膛內表面較深層之記憶效應元素露出而被測得。（彈頭擠入之後膛採樣及擠入後之彈頭採樣結果如圖 30、圖 31）



圖 28 擠入編號 05 槍枝之彈頭



圖 29 擠入編號 18 槍枝之彈頭

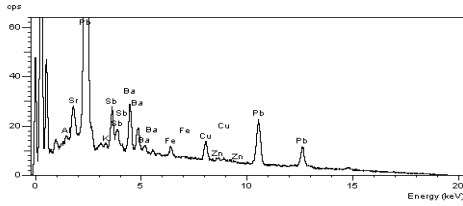


圖 30 擠入彈頭之編號 05 槍枝後膛樣品 05PB1-06 X-ray 能譜圖

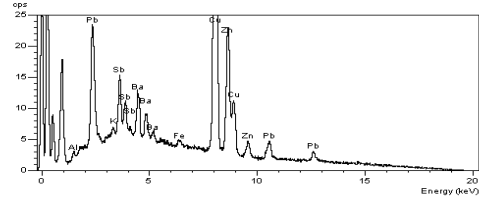


圖 31 擠入編號 05 槍枝後膛之彈頭上來復線 05PL1-06 X-ray 能譜圖

三、留用槍枝試射無毒底火子彈之採樣分析

(一) 槍枝試射後樣品分析情形

1. 試射時以防彈衣阻擋彈頭，彈頭受衝擊變形，包衣破裂、鉛核裸露（圖

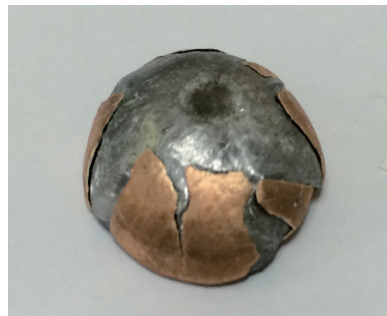


圖 32 試射後受防彈衣阻擋之彈頭情形

2. 被射物表面採樣經 SEM/EDS 分析，測得類球形射擊殘跡顆粒，經 EDS 元素分析發現，除測得彈殼內射擊殘跡所含元素外，尚測得鉛、銻、鋇、鋁、鈦、錫等元素。顯示被射物表面射擊殘跡不僅含來自子彈底火所含元素成分，另含帶出之槍管內記憶殘留，如鉛、銻、鋇等元素（圖 33）。顯示槍管內記憶殘

32)，就靠近彈頭底部之來復線刮擦痕採樣分析，結果測得鉛、銻、鋇元素。顯示槍管內記憶效應元素射擊時轉移至彈頭來復線刮擦痕處，隨彈頭飛行 3 公尺未脫落而被測得。

- 留確可於稍後之射擊過程被帶出，與該次射擊之殘跡混合，形成與該次射擊彈殼內射擊殘跡元素成分不相符之射擊殘跡。
3. 射手於試射前、後之虎口採樣，分析結果發現，試射前虎口採樣測得含有鉛、鋇、錫元素（如圖 34），發現火工品焊接中經常使用錫元素，且多摻雜有

鉛及鉍元素，常伴隨一起出現（余韋萱，張士欽，2009；陳昭銘，黃孟棟，2008），與分析結果偵測到之情形吻合，顯示射擊前之射手虎口樣品有外來的火工焊接微粒污染，初步研判應該為採樣前雙手清洗步驟未完全而遭受焊接微粒之污染，但依「同時含有鉛、銻、鉍元素」之判斷標準，可排除其為特異性射擊殘跡。試射後虎口樣品則測得非

本次試射子彈底火成分之鉛、銻、鉍元素，且部分顆粒為符合典型射擊殘跡判斷標準之類球形顆粒。（如圖 35）

4. 試射後彈殼外部採樣分析，可測得含有鉛、銻、鉍元素之微粒，證實槍管內之射擊殘跡記憶殘留，會在上膛、射擊、退殼、拋殼等射擊循環操作過程中轉移到彈殼外部。（如圖 36）

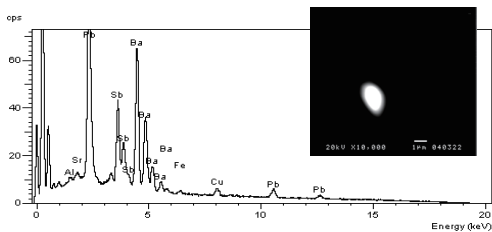


圖 33 編號 23 槍枝試射後被射物表面測得射擊殘跡之 X-ray 能譜圖及 BEI 圖

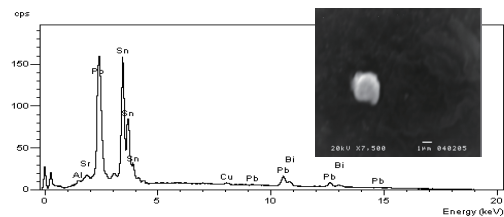


圖 34 編號 20 槍枝射手試射前手部 20SHB-06 X-ray 能譜圖及 SEI 圖

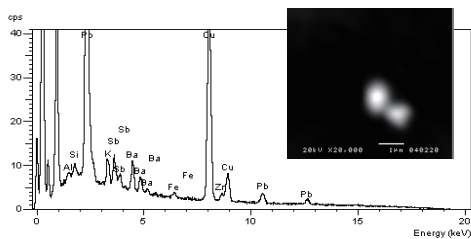


圖 35 編號 20 槍枝試射後虎口樣品測得射擊殘跡之 X-ray 能譜及 BEI 圖

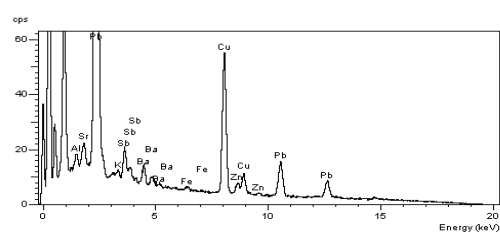


圖 36 編號 20 槍枝試射後彈殼外部 20SCO-02 X-ray 能譜圖及 SEI 圖

四、射擊訓練用槍射擊非腐蝕底火子彈採得樣品分析

(一) 於射入孔周圍 10 公分內樣品分析發現，來自射擊之兵工廠子彈底火所含

鉛、銻、鉍元素與槍管內無毒底火子彈之射擊殘跡記憶殘留，如鈣、矽、硫等元素混合出現。再次證實槍管內記憶殘留的確會因射擊而被帶出，沈積至被射物表面，而改變射擊殘跡之

元素組成。(如圖 37)

(二)就試射後經清潔之槍管內採樣分析，雖試射前槍管採樣分析並未測得鉛、銻、鋇元素(圖 38)，而試射後卻可測得鉛、銻、鋇元素，證明半自

動手槍槍枝在連續射擊 20 發非腐蝕底火子彈後，已在槍枝內形成含有鉛、銻、鋇元素之新記憶效應。(圖 39)

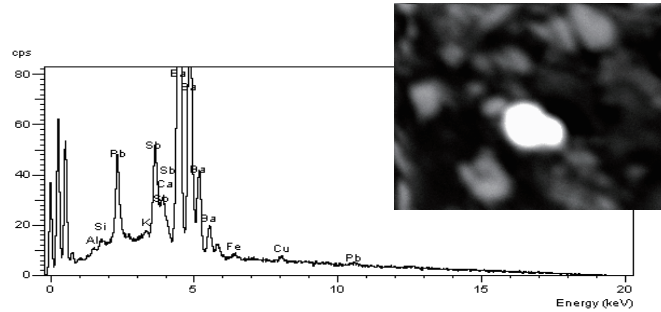


圖 37 編號 26 槍枝試射後被射物表面 26MS-10 X-ray 能譜圖及 BEI 圖

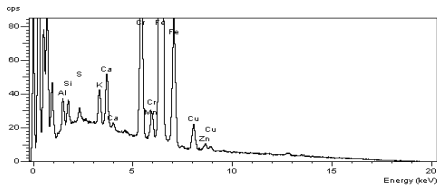


圖 38 編號 26 槍枝槍管後膛原始記憶效應採樣分析之 X-ray 能譜圖

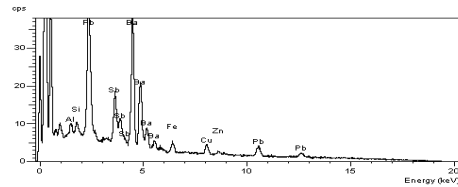


圖 39 編號 26 槍枝試射 20 發非腐蝕底火子彈後，後膛新形成之記憶效應 X-ray 能譜圖

(三)對試射後槍管內採得殘跡進行元素 mapping 分析，其 X-ray 能譜圖如圖 40，mapping 圖如圖 41，針對鉛、銻、鋇、鎂、鉻、鐵、矽進行元素分布圖分析，鐵、鉻元素代表槍管材質為圖中之左方及左上方，而鉛、銻、鋇元素則相當均勻分布在分析之片狀殘跡上，鎂及矽相對較少，分布於左半及右邊一小塊區域。顯示該片狀殘跡極可能為記憶效應薄脆層，造成此一結果之可能機制有二：(1)部

分槍管材質上覆蓋有槍枝內舊有的無毒底火射擊殘跡記憶殘留鎂、矽元素，試射時再覆蓋一層新的非腐蝕底火記憶效應鉛、銻、鋇元素；或(2)少量原有鎂、矽元素混合新殘跡鉛、銻、鋇元素後，於槍管內形成新的片狀射擊殘跡記憶殘留。但上述兩種可能都代表新的射擊殘跡記憶效應確實在槍管內產生，且與原本槍管內樣品測得元素不同，證明槍枝可能因射擊過程的高溫高壓環境，使記憶效應

元素產生改變，甚至混合產生新的射

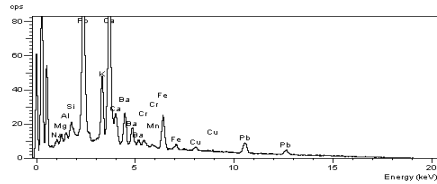


圖 40 編號 26 槍枝試射後槍口循跡側射擊殘跡記憶殘留之 X-ray 能譜圖

擊殘跡而有新的記憶效應。

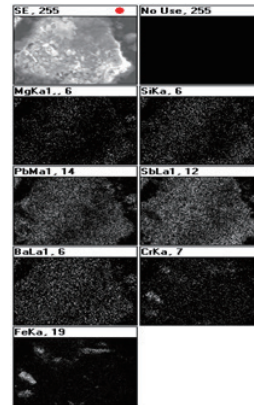


圖 41 編號 26 槍枝試射後槍口循跡側射擊殘跡記憶殘留 mapping 圖

肆、結 論

研究分析結果發現不論何種廠牌型號的槍枝，均可在其樣品中測得射擊殘跡記憶殘留，顯示各種不同廠牌型號半自動手槍均可產生射擊殘跡記憶殘留。但不同槍枝間記憶殘留成分仍有差異，甚至同一槍枝的不同部位樣品分析所得結果也不完全相同。其可能原因為留用槍枝於被查獲前非法持有者使用之子彈之底火藥、發射火藥、彈頭、彈殼之組成可能不同所造成，且經長時間使用之槍枝，槍管內自然會累積更多的射擊殘跡記憶殘留。又實驗亦證明槍枝即便經過正常清潔程序，仍無法將槍管內之射擊殘跡記憶殘留去除。由研究主軸一可證實文獻所述之射擊殘跡記憶效應確實存在國內常見半自動手槍中。

研究主軸二利用人工硬力將彈頭擠入槍管後膛中，再採取彈頭表面樣品進行分析，分析結果發現，透過避開高溫高壓環境之條

件，證明彈頭及槍管間擠壓刮擦的過程，確實可從槍管內表面攜出射擊殘跡記憶殘留。接著試射無毒底火子彈，再從被射物表面、射擊者手部、彈殼外部、彈頭、槍管內各部位進行採樣分析，結果發現各採樣位置均可測得鉛、銻、鋇元素殘留。射擊時高溫高壓環境及彈頭跟槍管間高速擠壓刮擦過程，是槍管內記憶效應殘留被攜出的主要因素，攜出之射擊殘跡分布至各採樣分析表面，在被射物表面、射擊者手部及彈殼外部樣品測得許多同時含有鉛、銻、鋇元素之球形顆粒，另有部分樣品測得之元素顯示其為槍管內記憶殘留成分與無毒底火子彈射擊殘跡混合形成之射擊殘跡。

射擊訓練用槍連續射擊 20 發非腐蝕底火子彈，證實可在槍管內形成具特异性元素之射擊殘跡記憶殘留，並發現半自動手槍較文獻所述之轉輪槍 (Meng and Caddy, 1997) 容易形成射擊殘跡記憶殘留。主要原

因應為半自動手槍之槍管於射擊過程接近密閉狀態，射擊殘跡在高溫環境下與槍管表面一薄層高溫金屬反應融合，彈頭射出後，此一薄層冷卻形成薄脆狀之記憶殘留。前述結果可合理證明槍枝射擊殘跡記憶效應之產生，與槍枝結構、子彈類型、彈頭和彈殼材質、裝填火藥量等因素均有關聯。綜前所述，射擊殘跡記憶殘留可經射擊過程被攜出，與後射子彈之射擊殘跡混合，影響後射

子彈射擊殘跡之元素組成。研究亦證明射擊殘跡殘留可隨使用子彈之改變而逐漸改變其成分，形成新的射擊殘跡記憶殘留。槍彈鑑識人員進行射擊殘跡分析時，應充分分析被射物表面、射擊者手部、槍管內及彈殼內等處之射擊殘跡樣品，以獲得完整之射擊殘跡組成，才能做出正確的分析判斷，建立完整之刑案四項連結，協助案件之偵破。

參考文獻

一、中文部分

- 古錦松。2001。潛弧電焊能力本位訓練教材 - 認識碳鋼材料。行政院勞工委員會職業訓練局，編號 PFG-PFW0101 教材。
- 李協昌，孟憲輝。2002。常見手槍子彈底火藥及射擊殘跡鑑析之研究。刑事科學 54：29-43。
- 吳順平，孟憲輝。2000。發射火藥中無機及有機成份分析之研究，中央警察大學碩士論文。
- 余韋萱，張士欽。2009。鉛錫軟焊合金與鎳鐵合金介面相研究（摘要）。清華大學碩士論文。
- 孟憲輝。1996。射擊殘跡之形成與特性。警學叢刊，26 卷 5 期，頁 47-65。
- 孟憲輝。2007。第十五章 槍彈、工具痕跡和其他印痕鑑識。刑事鑑識概論，駱宜安等合著，中央警察大學，頁 440,447,459。
- 孟憲輝。1996。射擊殘跡之微粒分析，刑事科學，28 期，頁 85-90。
- 林怡貝，孟憲輝。2013。轉輪槍射擊殘跡記憶效應之研究。中央警察大學鑑識科學研究所碩士論文。
- 金志明。2004。槍砲內彈道學。北京理工大學出版社，頁 9-10。
- 茆璦鵬，孟憲輝。2013。半自動手槍射擊殘跡記憶效應之初探。2013 年鑑識科學研討會論文集，頁 215-220。
- 陳昭銘，黃孟楛。2008。錫 - 鈹鍍料與金基材界面反應之研究。台北科技大學碩士論文。
- 黃金榮，孟憲輝。2008。含皮動物組織彈孔周圍表面射擊殘跡分析之研究。刑事科學，64 期，頁 35-44。

二、英文部分

- American Society for Testing and Materials. 2010. ASTM standard E1588-10e1: Standard guide for gunshot residue analysis by SEM/EDS.

- Charles, S.; Nys, B.; and Geusens, N. 2011. Primer composition and memory effect of weapons-some trends from a systematic approach in casework. *Forensic Science Int.* 212:22.
- Dalby, O.; Butler, D.; Birkett, J. W. 2010. Analysis of gunshot residue and associated materials- A review. *J. Forensic Sci.* 55-4:924.
- Hogg, S. R. 2013. Analysis of lead-free ammunition by scanning electron microscopy using energy dispersive X-ray spectroscopy and discrimination of samples using principal components analysis. Master thesis of Michigan State University.
- Meng, H. H. and Caddy, B. 1997. Gunshot residue analysis- A review. *J. Forensic Sci.* 42-4:553.
- Meng, H. H. and Chen, Y. L. 2006. Energy dispersive X-ray analysis of bullets commonly encountered in Taiwan. *Forensic Science Journal.* 5:21.
- Martiny, A. et al. 2008. SEM/EDS analysis and characterization of gunshot residues from Brazilian lead-free ammunition. *Forensic Science Int.* 177: 9.
- Romolo, F. S. and Margot, P. 2001. Identification of gunshot residue: A critical review. *Forensic Science Int.* 119:195.
- Suga, M., et al. 2014. Recent progress in scanning electron microscopy for the characterization of fine structural details of nano materials. *Progress in Solid State Chemistry.* 42:1.
- Sporting Arms and Ammunition Manufacturers' Institute. 2013. SAAMI Velocity and piezoelectric transducer pressure: centerfire pistol & revolver. 2013 revised. p1, retrieved from:http://www.saami.org/specifications_and_information/specifications/Velocity_Pressure_CfPR.pdf
- Wolten, G. M. and Nesbitt, R. S. 1980. On the mechanism of gunshot residue particle formation. *J. forensic Sci.* 25-3:533.
- Zeichner, A.; Ehrlich, S.; Shoshani, E.; Halicz, L. 2006. Application of lead isotope analysis in shooting incident investigations. *Forensic Science Int.* 158: 52.