

涉案非制式子彈無機射擊殘跡 掃描電子顯微/X射線能譜分析

劉中聖／桃園市政府警察局刑事鑑識中心

孟憲輝／中央警察大學鑑識科學學系

摘要

射擊殘跡是槍擊案中重要的微物跡證，被射物表面射擊殘跡可供確認彈孔及研判射擊距離，手部射擊殘跡鑑析則可用於研判相關人槍擊時是否在场或曾接觸相關人和物。掃描電子顯微/X射線能譜分析法(SEM/EDS)可同時進行形態觀察及元素分析，故為無機射擊殘跡通用鑑析方法。根據美國材料和試驗協會(ASTM)E1588-17標準，鉛-銻-銀和鉛-銀-鈣-矽-錫是非腐蝕底火的特徵性射擊殘跡元素組成，類球形則為其形態特徵。無鉛和無毒底火的出現，以及我國非制式子彈的流行，都造成射擊殘跡元素組成不具特異性的現象。

為瞭解國內非制式子彈射擊殘跡之元素組成與形態特徵，本文擇16件105年及106年間扣案之非制式子彈案件進行試射採樣。每案試射3發子彈，每次試射分別採取被射鋁板彈孔周圍、背面瓣狀內側及彈殼內之射擊殘跡樣品各1個。各案另拆解完整子彈，分別採取彈頭、彈殼、發射火藥、底火藥及底火零件等樣品進行分析，以協助研判射擊殘跡成分元素之來源。

所有樣品經SEM/EDS進行分析，結果顯示同一顆子彈試射後之彈孔周圍、背面瓣狀內側及彈殼內射擊殘跡元素組成可相互對

應，且子彈各部件皆對射擊殘跡組成元素造成貢獻。所有非制式子彈射擊殘跡均可測得球形微粒，其主要元素組成為不具特異性之磷-氯-鉀-鈣，另可測得鋁、矽、硫、鐵、銅、鋅等元素。但測得射擊殘跡特徵性元素組成鉛-銻-鋇及鉛-鋇-鈣-矽-錫微粒者各有1案。測得射擊殘跡相符元素組成之鉛-鋇、鋇-鈣-矽、鋇-鋁或鈦-鋅微粒者則有15案，研判其中鉛和鋇元素來自非制式子彈取用之邊緣底火空包彈受底火藥污染之無煙火藥，此一結果顯示國內大部分涉案非制式子彈之射擊殘跡仍具備日常生活較罕見之元素組成可供鑑析辨識。為避免此等結果遭誤判為射擊殘跡陰性，分析手部樣品時可與涉案彈殼、槍管或被射物樣品之分析結果進行比對，採「隨案而定」原則進行研判，才可提升射擊殘跡鑑析之證據價值和可信性。



關鍵詞

槍彈鑑識、非制式子彈、邊緣底火空包彈、無機射擊殘跡、掃描電子顯微/X射線能譜分析法

壹、前言

106年度警察機關查獲的非制式槍枝計1676枝、非法彈類計25,036顆，皆為近5年來的最高數據⁽¹⁾。顯示國內非法槍彈氾濫，嚴重影響社會治安，涉槍案件亦常是媒體矚目焦點之一。在槍擊案件中，常見之物證包括槍枝、子彈、射擊後彈頭及彈殼、微物跡證、生物跡證、終端彈道型態和槍傷型態等。上述之物證經過鑑定後，所得資訊可以建立現場、被害人與涉嫌人之關聯性，並協助案件偵查，最後成為起訴之證據及判決之參考⁽²⁾。

非制式槍彈氾濫的可能歸因於我國屬於槍彈管制之國家，除禁止一般民眾持有，對槍彈的走私查察甚嚴，不法之徒不易取得制式槍彈情況下，轉而使用土、改造槍彈作為犯罪工具。查詢國外文獻多著重於特殊型式槍彈所造成的槍傷案例報告，與非制式子彈射擊殘跡之相關文獻、書籍或研究結果較少。且因國內取得市售商品之製造商或成分可能與國外相異，造成製作非制式子彈的原料即有不同，為更貼近我國實務上鑑定需求，研究分析近年國內非制式子彈及其射擊殘跡元素組成是有其必要性。

目前國內槍擊案件物證，實務上多針對射擊後彈頭、殼進行工具痕跡比對。射擊殘跡部分則使用掃描電子顯微/X射線能譜分析法（SEM/EDS）尋找具有類球形且含特徵性元素組成之微粒，作為研判無機射擊殘跡之依據。但此法除典型非腐蝕性底火子彈，可確認為射擊殘跡外，對於不同廠牌的無鉛或無毒底火子彈，甚或非制式子彈之射擊殘跡鑑定不易得到確認性的結

果，故非制式子彈射擊殘跡是值得深入探討之領域，若能有適當的鑑識程序，找出特徵性的元素組成或輔以有機成分分析結果判讀，必能對涉及非制式槍彈之案件偵查有所助益。

貳、實驗部分

一、實驗器材

(一) 實驗設備

日本Jeol JSM-5410LV 掃瞄電子顯微鏡，英國Oxford 6993 LINK ISIS X射線能譜分析儀，美國SPI-MODULE鍍碳機。



圖1、樣品試射裝置配置情形

(二) 實驗材料

105年及106年度警察機關查獲送請鑑識實務機關鑑定之非制式子彈，依底火結構分為底火皿式（primer cup，PC）及底火連桿式（primer bar，PB），兩類子彈各擇8個案件。每案以美國Ruger廠製造口徑9 mm×19之P95DC型制式手槍試射3顆，另拆解1顆子彈進行子彈零組件元素分析。被射物為東一實業股份有限公司材質編號1100-H12之鋁板（長40cm，寬40cm，厚0.65mm）。

二、實驗方法

(一) 未試射子彈採樣：各案選取與試射子彈外觀及底火結構相同之子彈1顆，將其拆解為發射火藥、底火藥、底火零件、彈頭及彈殼等部件，先就外觀進行辨識比較，再分別將各部件黏於樣品座上。

(二) 試射及射擊殘跡採樣：試射時以機械手臂固定槍枝，槍口距鋁板30公分，裝填試射子彈後進行射擊。射擊後以雙面碳膠樣品座採取鋁板彈孔周圍（AP）、彈孔背面瓣狀內側（BP）及試射後彈殼內（C）等3處射擊殘跡，編號後置於培養皿內密封。第一次射擊前，採集鋁板表面碳膠鋁錠作為空白樣品，每發子彈試射後均以潤滑清潔劑(WD-40)搭配清槍工具仔細清潔槍枝，另輔以抽氣設備抽取環境中懸浮之射擊殘跡，減少槍枝及環境污染下一發射擊的射擊殘跡樣品。

(三) 樣品分析：射擊殘跡樣品進行鍍碳前處理後，置入SEM/EDS樣品室內，設定儀器加速電壓為20 KV，工作距離為15mm及X射線能譜訊號蒐集時間60秒。由碳膠頂端自左而右、上下往復之搜尋方式，人工尋找碳膠上無機射擊殘跡微粒10顆，並分別記錄微粒形態及無機元素組成。子彈零組件樣品則放大至適當倍率後，進行面或點之元素分析。

參、結果與討論

一、非制式子彈外觀檢視

採樣之16案非制式子彈中，同案子彈外觀並無明顯區別，但不同案子彈可觀察到於彈頭形狀及子彈長度之差異（圖2和圖3）。底火皿式之底火皿邊緣圓滑有弧度，與底火袋之間隙較大，可與底火連桿式子彈區別（圖4）而進行分類。多數底火皿式非制式子彈改造自市售之模型子彈，其彈底標記取決於原始子彈，不同案件子彈常具備相同之彈底標記。土造子彈之彈底標記內容常有錯誤、字體粗糙或不一致之情形，如編號PB3子彈樣品其彈底標記打印「Lvger」字樣，與正確用法「LUGER」及字母大小寫有所差異（圖4）。



圖2、PB1樣品子彈外觀

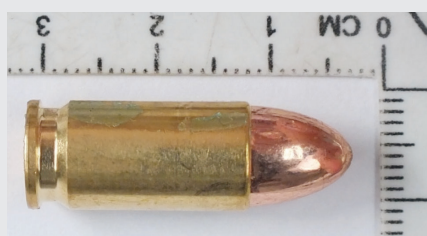


圖3、PC3樣品子彈外觀



圖4、彈底標記為「LUGER」之底火皿式和「Lvger」之底火連桿式非制式子彈

二、非制式子彈各部件元素組成

拆解後彈頭經清洗後，以EDS分析其元素組成，結果發現16案之彈頭中，有14案彈頭為純銅實心彈頭。PB3樣品之彈頭除銅元素外，另測得少量的錫元素，與制式子彈常見鉛核外覆黃銅包衣之構造明顯不同。但編號PC7樣品之彈頭具有金屬內核外覆金屬包衣之結構，惟其內核略呈圓柱狀，未與包衣緊密貼合易脫落。經分析包衣測得銅元素，內核則為鋁、鋅合金，由材質與製造精密度上仍可與制式子彈彈頭相區隔。PC7彈頭之包衣和內核外觀及X射線能譜圖如圖5所示。

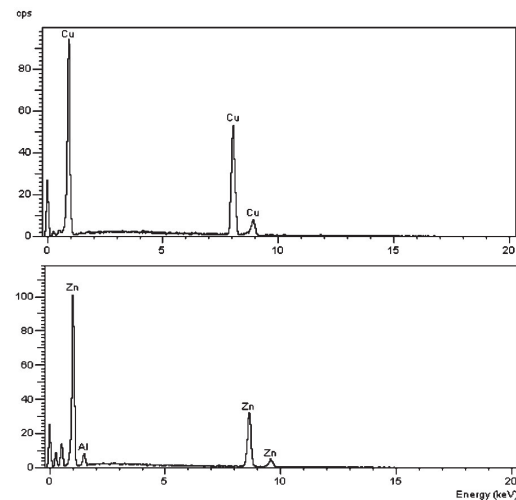


圖5、PC7彈頭之包衣和內核外觀及X射線能譜圖

各案子彈之彈殼以斜口鉗剪下一小塊，洗淨後以EDS分析其元素組成。結果顯示有15案樣品測得Cu及Zn，與制式子彈常見黃銅合金相同，PC5彈殼樣品之鋅含量大於銅，且另測得Cr元素，但PB3彈殼樣品僅測得Cu元素及微量的Sn元素，PC5和PB3彈殼之X射線能譜圖如圖6。

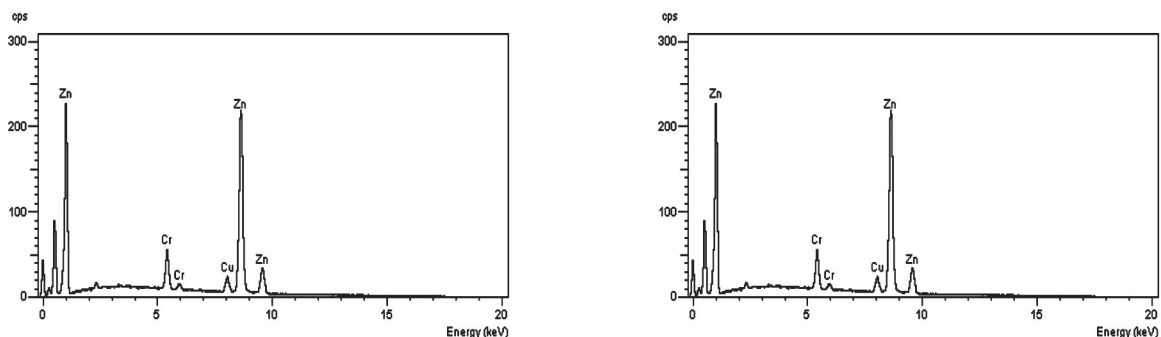


圖6、彈殼材質非為黃銅之PC5（左）和PB3（右）彈殼之X射線能譜圖

底火連桿式子彈之底火結構可拆解為導火孔螺絲及底火連桿，分析106年PB6至PB8非制式子彈樣品，由外觀可見導火孔螺絲由螺牙可分為3牙半及2牙半，如圖7。不同案件間導火孔螺絲之螺牙數雖有差異，但皆測得Cu和Zn元素。不同案子彈之底火連桿元素組成未見明顯差異，主要皆測得含有Fe及Ni元素，PB6樣品另測得Cr元素。

底火皿式子彈之底火結構可拆分為底火皿及砧片兩部分，分析106年PC6至PC8非制式子彈樣品，PC7及PC8樣品與制式子彈或市售底火皿常見之結構相同，具有一個三爪砧片及一個底火皿，如圖8。底火皿及砧片常見均為黃銅合金，但PC8樣品底火皿呈銀色外觀，底部較為平整，經X射線能譜分析測得Fe及Ni元素，砧片部分則為黃銅合金。PC6子彈樣品於試射時有多發子彈無法擊發，經拆解後發現其底火皿內砧片結構較為特殊，由一大一小兩種螺帽所組成，如圖9。小螺帽置於底火皿底部，覆上大螺帽並添加底火，小螺帽經元素分析測得為Cu、Zn元素，大螺帽測得Fe元素。射擊此類子彈時，因撞針撞擊位置為螺帽中央孔洞，致壓力不足以引爆底火，僅造成底火皿凹陷，使得試射時子彈難以擊發。但此種使用螺帽型砧片之製作手法並未於其他案件中出現，此類特殊性結構可供偵查時追溯來源之用。

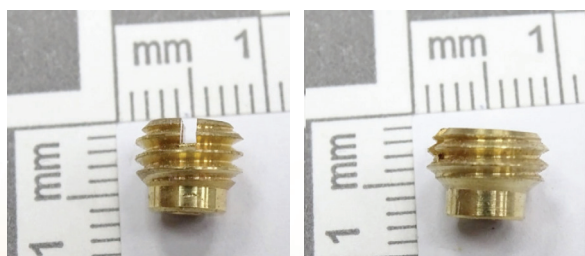


圖7、導火孔螺絲外觀，PB6為3牙半（左）PB7為2牙半（右）。

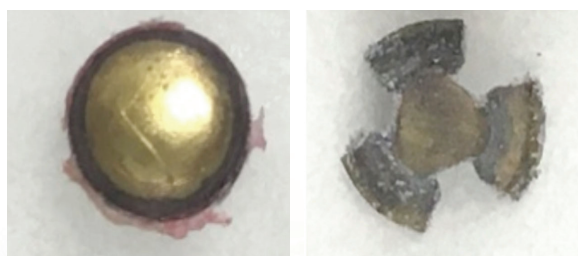


圖8、常見底火皿（左）及三爪砧片（右）結構外觀

拆卸子彈時發現部分樣品底火藥中並非均質，如PB6底火藥樣品中可發現紅色纖維摻雜，在PB7樣品中更可見裁切後之市售紙底火片外包裝。經EDS分析底火藥可概分兩類，多數樣品中

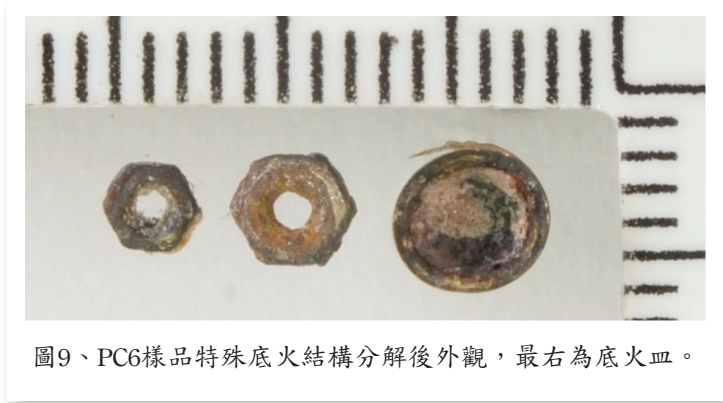


圖9、PC6樣品特殊底火結構分解後外觀，最右為底火皿。

均可測得以磷、氯、鉀、鈣等元素為主之組成，依不同案件尚可另測得鋁、矽、鐵、硫、鉛、銀、銅、鋅、鎂等元素，由底火藥外觀及元素組成研判其來源為市售底火商品⁽³⁾。另外有2案子彈底火藥中測得鋁、矽、鐵、鉀、鉛、銀等元素，與前述以磷、氯、鉀、鈣元素為主之組成相

異，由其元素組成推測來源為打釘槍空包彈之邊緣底火⁽⁴⁾。

部分子彈樣品之發射火藥並非由單一種類火藥所組成，其有機成分主要為硝化纖維及硝化甘油所組成之雙基無煙火藥，以EDS分析火藥表面附著之物質及其他粉狀結晶物質，可測得與市售底火商品相似之元素組成，推測可能在裝藥時沾附底火藥所致。部分發射火藥可測得測得Pb和Ba元素，如圖10所示，參考文獻研判此發射火藥是由打釘槍空包彈中取出，因摻雜邊緣底火之史蒂芬酸鉛及硝酸鉍成分所致⁽⁴⁾。此外PC2及PC3樣品為圓片狀發射火藥，其表面皆測得Sr和Ba元素，元素組成與各該子彈之底火藥元素組成或打釘槍空包彈底火藥之成分均不相同。Sr和Ba元素常見於煙火商品中的焰色劑，研判此兩案發射火藥可能來自煙火類火藥。

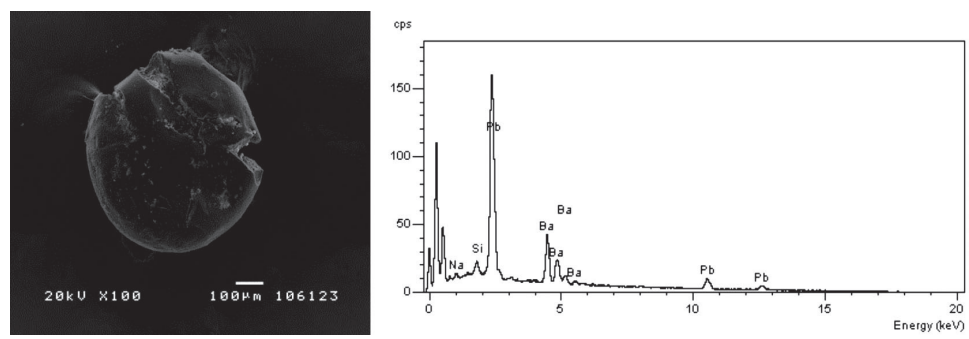


圖10、PB3子彈之球形壓扁火藥表面可測得含鉛和鉍元素

三、非制式子彈射擊後樣品之無機射擊殘跡微粒分析

各案樣品分析結果分別將測得之無機元素、特徵微粒數及不同採樣位置之相符微粒數彙整如表1所示。由研究結果可知，近年臺灣地區非制式子彈無機射擊殘跡皆可測得P、Cl、K、Ca等元素及其子彈零組件所含成分之元素。其中PC2和PB3子彈射擊殘跡樣品各測得符合ASTM-E1588標準之非腐蝕性底火特徵性元素組成微粒1顆，分別為鉛-銻-鉍微粒和鉛-鉍-鈣-矽-錫微粒，其微粒外觀及X射線能譜圖如圖11和12所示。絕大部分非制式子彈的射擊殘跡元素組

成不具特徵性，也無法以元素組成區別底火連桿式及底火皿式之子彈。雖大部分樣品可測得射擊殘跡之相符性微粒，但如PB6子彈試射樣品中皆未測得相符性微粒情況下，以ASTM之標準判別非制式子彈之射擊殘跡，仍有可能產生「偽陰性」之結果。

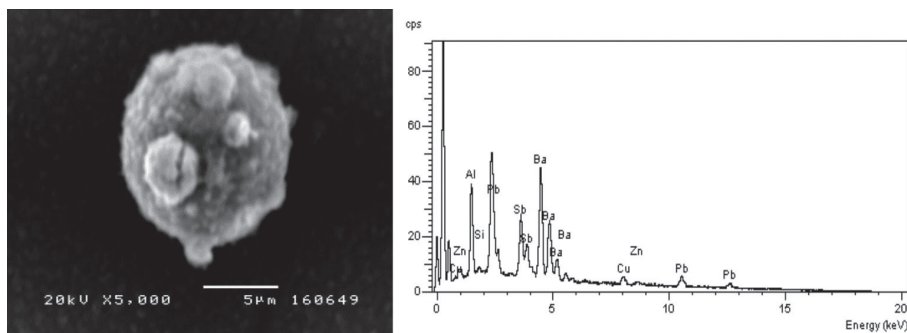


圖11、PC2子彈射擊殘跡樣品測得含鉛-銻-鋇之特徵性微粒

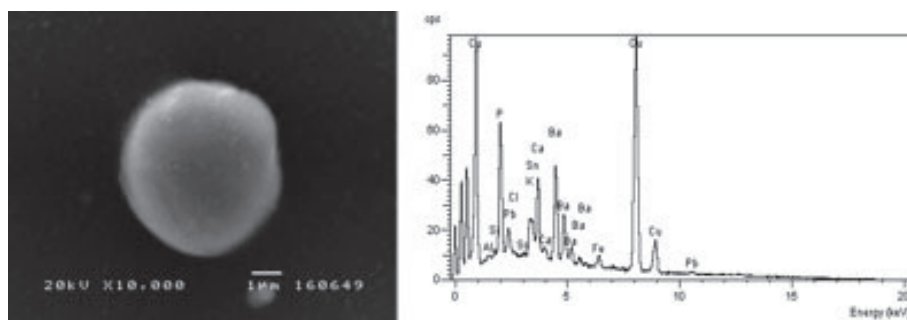


圖12、PB3子彈射擊殘跡樣品測得含鉛-鋇-鈣-矽-錫之特徵性微粒

由拆卸子彈各部件分析結果可知多數非制式子彈發射火藥來源為打釘槍空包彈，製造時極易將其底火成分一併加入非制式子彈中，故常於射擊殘跡內測得含Pb和Ba元素之微粒，代表性含Pb和Ba元素之射擊殘跡微粒外觀及X射線能譜圖如圖13所示。另於底火藥或發射火藥內尚含有其他元素，故於射擊後射擊殘跡中也可測得含「Ba、Al」、「Pb、Ba」、「Ba、Ca、Si」、「Ti、Zn」等無機射擊殘跡相符性元素組成微粒。另若製造者使用含有特殊成分如Sb或Sn等射擊殘跡相關元素之金屬製作子彈，極有可能測得如PB3子彈試射樣品中含「Pb、Ba、Ca、Si、Sn」之特徵性元素微粒。若非分析子彈各部件元素組成，容易造成鑑定人員誤判為非腐蝕底火制式子彈。鑑定非制式子彈射擊殘跡時，應考量子彈其他部件之元素組成及採集位置，作為射擊殘跡詮釋之參考。

由表1可見除PB6子彈試射樣品外，各案於鋁板彈孔周圍皆可採到無機射擊殘跡相符性微粒。而鋁板彈孔背面瓣狀內側仍可採得射擊殘跡微粒，係因拋射體穿過鋁板時摩擦轉移所致，雖然在近距離射擊時，採得微粒數較彈孔射入口周圍之樣品少，但射擊距離較遠時，彈孔周圍

由火藥燃氣賦予動能直接噴抵被射物之射擊殘跡將逐漸減少，而彈孔背面瓣狀上由彈頭攜帶，經摩擦轉移之射擊殘跡仍可存在，故此類射擊殘跡成為確認彈孔及分析射擊殘跡元素組成之重要樣品來源。惟其射擊殘跡含量相對較少，故採取時應盡可能以碳膠黏取。彈殼內之射擊殘跡可作為待鑑樣品之已知參考樣品，採集時應盡可能刮取底火皿或導火孔附近殘跡，才可採得足量且元素組成具代表性之樣品，以利後續分析。

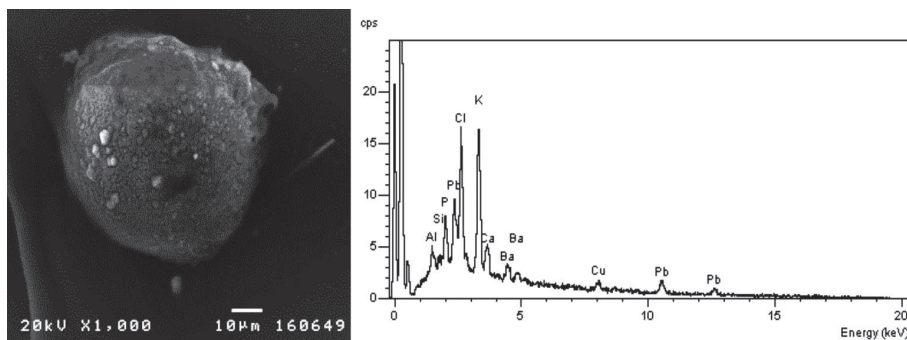


圖13、含Pb和Ba元素之代表性射擊殘跡微粒外觀及X射線能譜圖

表1、非制式子彈無機射擊殘跡元素分析結果一覽表

樣品編號	PB1	PB2	PB3	PB4	PB5	PB6	PB7	PB8	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8		
特徵性微粒數	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0		
相符微粒數	AP	16	3	21	14	7	0	3	24	23	8	14	12	3	12	13	17	
	BP	18	3	25	7	3	0	0	25	21	6	6	5	4	4	14	15	
	C	14	1	10	5	9	0	0	21	10	0	7	18	4	1	8	7	
主要元素	所有樣品均測得P、Cl、K、Ca								所有樣品均測得P、Cl、K、Ca									
測得之其他元素	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	
	Zn	Zn	(Zn)	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	
	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	
	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	(Fe)	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	
	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	(Ti)	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb
	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Mg	(Ba)	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba	Ba
	(Ti)	(Ti)	Sn	(Sn)	(Ti)	(Cr)	Mg	(Mg)	(Ti)	(Ti)	(Ti)	(Na)	(Ti)	Ti	Ti	Ti	(Mg)	
	(Mg)	(Mg)	Mg	Ni	Mg	(Na)	(Ni)	(Na)	(Mg)	Mg	(Mg)	(Mg)	(Mg)	Mg	Mg	Mg	Mg	S
	(S)	(S)	(Na)	S	(S)	(Mo)			(S)	(S)	(S)	(Ni)	S	S	(S)	(S)	Ni	
(Mn)	(Mn)		(Ti)	(Na)				(Na)	(Ni)	Sr		(Ni)	(Na)	(Na)	(Na)			
(Na)	(Ni)		(Mg)						(Sr)	(Na)		(Na)	(Cr)	(Mn)				

註：1、括號表示測得該元素之微粒少於10顆。

2、相符性微粒元素組成包含「Pb、Ba」、「Ba、Al」、「Pb、Sb」、「Ba、Ca、Si」、「Sr」、「Ti、Zn」

依據實驗結果，同一顆子彈射擊後彈殼內射擊殘跡與被射物上之射擊殘跡元素組成互有相關。目前我國非制式子彈無機射擊殘跡主要元素組成皆相似，以磷、氯、鉀、鈣等元素為主，不同子彈射擊殘跡之差異僅在少量的次要元素有無。而同案不同顆非制式子彈間(如PB2子彈樣品)之射擊殘跡元素組成仍有發現相異情形，由此可知不宜將同案非制式子彈做為其他子彈射擊殘跡樣品的已知參考樣品，以判斷測得元素之來源。不同案之非制式子彈，即使彈底標記相同，也不宜做為彼此間之已知參考樣品。故進行非制式子彈射擊殘跡分析時，「隨案而定」之鑑定概念應嚴格遵循ASTM E1588-17所列之原則，採用同次射擊之彈殼、被射物或槍管內之射擊殘跡做為已知參考樣品⁽⁵⁾，進行分析結果研判。不宜望文生義解釋為可使用同案子彈為已知參考樣品。

肆、結論及建議

綜合本研究結果，非制式子彈外觀可由彈底標記及底火結構與制式子彈區隔。進一步拆卸子彈，檢視各部件構造及進行元素分析，部份子彈具有特徵性之彈底標記或底火結構零組件型態，又或製作子彈之金屬材質較特殊，皆可提供偵查單位做為縮小偵辦方向的有力依據。

由元素分析結果顯示國內非制式子彈底火藥多來自市售玩具底火商品，可測得以磷、氯、鉀、鈣為主之元素組成。而少數測得含有鋁、矽、鐵、鉀、鉛、銀等元素之樣品，不排除其底火藥來自打釘槍空包彈之邊緣底火。發射火藥部分則多來自於打釘槍空包彈，其雙基無煙火藥表面常因沾附邊緣底火藥所含之史蒂芬酸鉛和硝酸銀，可測得含鉛及銀等元素。另外少分子子彈發射火藥表面測得鋇及銀等元素，不排除其來自煙火類火藥。因發射火藥主要取用市售商品無煙火藥部分，故亦有兩種火藥或多種煙火商品摻雜併用的可能，而由發射火藥中同時測得前述鉛、鋇、銀等元素。

使用非制式子彈對鋁板進行試射，並採樣進行射擊殘跡分析，在鋁板彈孔周圍、彈孔背面瓣狀內側及射擊後彈殼內採得之樣品，皆可測得元素組成與子彈零組件所含相對應之射擊殘跡球形微粒。彈孔背面瓣狀內側之射擊殘跡雖可採得之微粒數量較稀少，但在遠距離射擊未能於被射物表面採得射擊殘跡之情況下，可供採證單位確認彈孔及分析射擊殘跡之元素組成，惟仍須謹慎考量原附著於彈頭或環境中微粒汙染之可能。

非制式子彈射擊殘跡微粒之形態及大小與制式子彈之射擊殘跡相似，但元素組成則明顯不同，測得元素組成主要為不具特徵性之磷、氯、鉀、鈣，子彈各部件成分對於射擊殘跡元素組成皆有影響。本研究顯示國內非制式子彈之射擊殘跡，有誤判為非腐蝕性底火子彈射擊殘跡之可能，或誤判為未測得射擊殘跡之偽陰性結果。故針對非制式子彈之射擊殘跡鑑定仍建議以SEM/EDS進行形態觀察及無機元素分析，並瞭解各元素在子彈中的可能來源，輔以有機成分分析，測得如無煙火藥、添加劑或膠狀物質等成分。結果詮釋則應嚴格遵循ASTM E1588-17無機射

擊殘跡鑑驗標準中第9.1.2.2項內「隨案而定」的鑑定概念，取得已知參考樣品與待鑑樣品相互比對，即可大大提升非制式子彈射擊殘跡的鑑判程度。

本研究分析國內近年非制式子彈各部件及其射擊殘跡無機元素組成情形，期能提供實務單位鑑定非制式子彈之參考，後續如可進一步建立市售底火商品之無機元素資料庫，對於判別非制式子彈底火來源將更有助益。



誌謝

本文感謝行政院科技部專案研究計畫的經費支持，計畫編號 MOST 106-2410-H-015-004。FACT

參考文獻

- 1.內政部警政署106年警察機關處理持槍刑案擊查獲槍彈刀械概況（2018），107年3月30日載自 <https://www.npa.gov.tw/NPAGip/wSite/ct?xItem=86012&ctNode=12594&mp=1>。
- 2.孟憲輝（2014），物證鑑識在槍擊現場偵查上的應用，刑事政策與犯罪研究論文集，18：313-340。
- 3.李協昌、孟憲輝（2011），國內土、改造子彈及仿真子彈鑑識特徵及殺傷力之研究，中央警察大學鑑識科學研究所博士論文。
- 4.何彥承、孟憲輝（2009），打釘槍空包彈射擊殘跡鑑析之研究，中央警察大學鑑識科學研究所碩士論文。
- 5.American Society for Testing and Materials(2017). Standard guide for gunshot residue analysis by scanning electron microscopy/energy dispersive X-Ray spectrometry. ASTM E1588-17.