

爆竹煙火燃放處 採得火藥殘跡之鑑析

孟憲輝 / 中央警察大學鑑識科學學系教授

張尊評 / 警政署刑事警察局鑑識科槍彈股警務正

摘要

有文獻指出燃放爆竹煙火可產生類似射擊殘跡之干擾微粒，也有研究發現爆竹煙火殘跡的元素組成和射擊殘跡特徵性元素組成不同。為確認國內常見爆竹煙火燃放殘跡是否會干擾射擊殘跡鑑識，本文在玻璃板上燃放20種我國常見爆竹煙火後，採取玻璃板上之火藥殘跡，以掃描電子顯微/X射線能譜分析法進行微粒分析，並將殘跡微粒形態、大小及元素組成，與ASTM E1588-17射擊殘跡鑑析標準操作程序的射擊殘跡判定標準進行比較。

結果20種爆竹煙火中，19種燃放後在燃放處殘留球形殘跡微粒。1種爆竹煙火之球形殘跡微粒測得鉛鋇元素，測得鉛銻元素者1種，測得鉛元素者3種，測得鋇元素者6種，測得鋇元素者2種。計13種爆竹煙火之球形殘跡測得與射擊殘跡相關之金屬元素，但無任何一種測得具射擊殘跡特徵性元素組成之微粒。

因此，雖爆竹煙火燃放處殘留之火藥殘跡，其形態和大小與射擊殘跡不易區別，但其元素組成仍與射擊殘跡特徵性元素組成不同，只要嚴格遵照ASTM E1588-17所列射擊殘跡判斷原則，即不會干擾射擊殘跡的鑑定判斷。

**關鍵詞****鑑識科學，爆竹煙火殘跡，掃描電子顯微/X射線能譜分析法，形態分析，元素分析。**

壹、前言

近期文獻顯示，在20種我國常見市售爆竹煙火所含火藥中測得的常見元素有：鈉、鎂、鋁、硫、氯、鉀、銅、鋇和鋇，次常見的元素有：矽、鈦、鐵、鋯、銻和鉛，也可能含有磷、鈣、鉻、錳、鋅和鈹⁽¹⁾。根據美國材料與試驗學會（ASTM）的射擊殘跡鑑析標準操作程序 ASTM E1588-17的規範，典型射擊殘跡微粒為類球體，直徑在0.5 μm到大於100 μm之間。元素組成為鉛銻鋇或鉛鋇鈣矽錫者，為非腐蝕底火子彈射擊殘跡的特徵性元素組成。鋇元素則屬無鉛或無毒底火子彈射擊殘跡的相符性元素組成。故爆竹煙火藥所含鉛、銻、鋇和鋇元素若形成殘跡，都可能干擾射擊殘跡之鑑析⁽²⁾。另一文獻提及，施放前述20種市售爆竹煙火後，施放者手部採得火藥殘跡的微粒分析結果發現，只有14種樣品測得球形火藥殘跡微粒，其中僅5種殘跡微粒測得與射擊殘跡相關的鋇和鋇元素⁽³⁾，未發現具射擊殘跡特徵性元素組成微粒。6種爆竹煙火之施放者手部未測得火藥殘跡，研判係起因於點燃引信後，施放者手部迅即離開，爆竹煙火爆炸殘跡無法傳抵一定距離外的施放者手部，故較難測得火藥殘跡微粒。

2005年「新科學家」（New Scientist）的一篇文章認為⁽⁴⁾，施放爆竹煙火可產生類似射擊殘跡之干擾微粒。雖有研究發現爆竹煙火殘跡的元素組成和射擊殘跡特徵性元素組成不同^(5,6)，但也有文獻指出在煙火施放處所採得樣品中，測得易與射擊殘跡混淆的銻-鋇微粒和含鋇微粒⁽⁷⁾。為確認國內常見爆竹煙火的施放殘跡是否會影響射擊殘跡鑑識，乃將前述20種市售爆竹煙火固定於玻璃板上施放，再採取玻璃板上殘跡樣品進行分析，以確保採得所有類型爆竹煙火殘跡，期能完整分析20種市售爆竹煙火的殘跡形態和元素組成特徵。

貳、實驗部分

一、實驗器材

- (一) 實驗設備：日本Jeol JSM-5410LV 掃描電子顯微鏡，英國Oxford 6993 LINK ISIS X射線能譜分析儀，美國SPI-MODULE鍍碳機。
- (二) 實驗材料：國內市售爆竹煙火20種，分別為：金鋼棒、包羅萬象、勝利之花、富貴之星、花吹雪、旋轉花環、大地開花、黑蛇、空中彩蝶、吟蟲火箭、銀

花火箭、空中花園、流星花園、長壽炮、環保炮、拉炮、水鴛鴦、響珠、煙幕彈和摔炮，各種爆竹煙火之施放方式、施放效果和分類請參考相關文獻^(1,3)。

二、實驗方法

(一) 爆竹煙火殘跡採樣

1. 施放

將爆竹煙火放置於玻璃板上，施放後爆竹煙火會升空者，用鐵絲加以固定。接著以打火機或線香點燃引信或引火藥，加以燃放。但摔炮以丟擲碰撞玻璃板方式施放，拉炮則對準玻璃板拉動引線施放。

2. 採樣

爆竹煙火施放後，以黏有雙面碳膠樣品座的黏性面，直接對玻璃板表面進行黏取採樣。採樣後樣品座使用碳棒鍍碳後備用。

(二) 爆竹煙火殘跡樣品分析

掃描電子顯微鏡加速電壓20KV，工作距離15mm。以二次電子像模式進行殘跡顆粒形態觀察，以背向散射電子像觀察含高原子序元素之球形微粒。X射線能譜之蒐集範圍為0到20KeV，蒐集時間live time 50秒。特性X射線能譜峰以自動辨識配合人工辨識兩種方式確認測得之元素。

參、結果與討論

施放20種爆竹煙火後，以掃描電子顯微/X射線能譜分析法分析施放處玻璃板上採得之殘跡樣品。測得殘跡所含元素種類繁多，各種爆竹煙火殘跡所含元素互有異同。整體而言，測得元素有：鈉、鎂、鋁、鋇、磷、矽、硫、鉛、氯、鉀、銻、銀、鈣、鈦、錳、鐵、鎳、鉻、銅和鋅，其中鋇為無鉛或無毒底火子彈射擊殘跡之相符性元素。鉛、銻、銀元素同時測得時，為非腐蝕底火子彈射擊殘跡之特徵性組成。同時測得前述3元素之任2種，即為射擊殘跡相符性組成，測得任1種元素即為射擊殘跡相關性組成⁽²⁾。有19種樣品測得球形火藥殘跡微粒，在球形微粒測得鉛銀鋇3種元素者1種，測得鉛銻2種元素者1種，測得鉛元素者3種，測得銀元素者6種，測得鋇元素者2種。並未測得任何射擊殘跡特徵性元素組成。各種爆竹煙火施放處殘跡分析結果討論如下：

一、金鋼棒

金鋼棒在鐵棒外包覆煙火藥，引燃後產生大量黃色火花自然落下。在玻璃板上樣品測得大量直徑1-200 μm 之球形微粒和少量不規則狀殘跡，絕大部分球形微粒僅含鐵元素，極少數球形

微粒測得鋁、鈣、鋇和鐵元素（圖1）。不規則微粒含鋁、鈣、鋇和鐵元素，與施放前成分相符⁽¹⁾。由於金鋼棒火藥內含之硝酸鋇和鋁粉，其主要功能為經由氧化還原反應產生高溫和氮氣，使鐵粉熔融產生火花，再利用高壓氮氣則將火花噴出⁽⁸⁾，故含鐵火花可噴抵玻璃板。

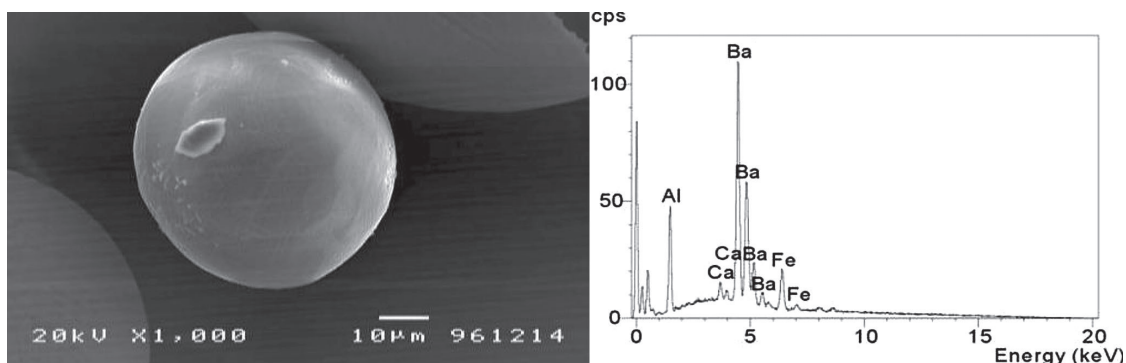


圖1、金鋼棒施放處樣品測得之鋁、鈣、鋇、鐵球形微粒及其X射線能譜

二、包羅萬象

包羅萬象之圓形紙筒內裝填煙火藥，點燃引信後，向上噴出大量彩色火花及煙霧。玻璃板採得樣品測得大量不規則狀殘跡和少量直徑5-10 μm之球形微粒。測得元素分成兩類，一類含鎂、鋁、矽、硫、鉀、鈣、銅和鐵元素（圖2），另一類僅含硫和鉀。施放前之包羅萬象火藥，可測得射擊殘跡相關性元素鉛⁽¹⁾，但施放處殘跡未測得鉛。顯示爆竹煙火所含火藥成分未均勻混合，施放時未同時反應，且反應環境密閉性不佳，故火藥所含元素無法均勻混合形成殘跡微粒。

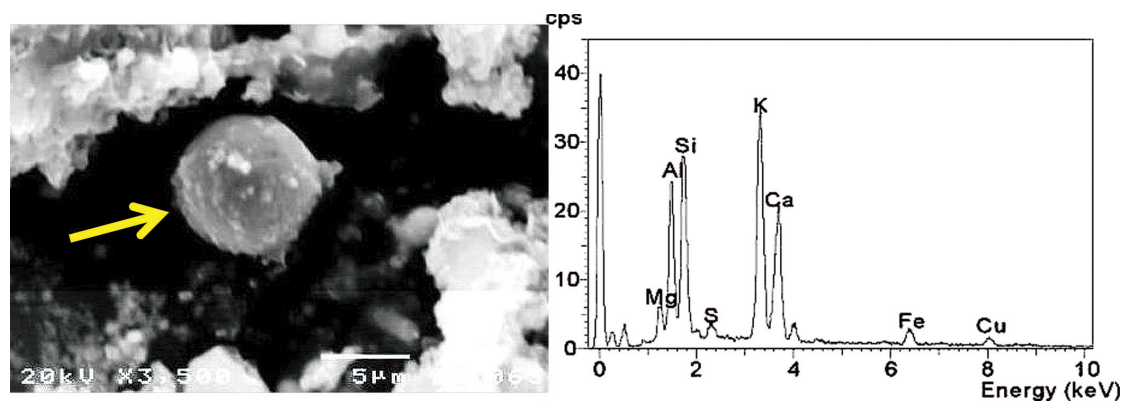


圖2、包羅萬象施放處樣品測得之球形微粒及其X射線能譜

三、勝利之花

勝利之花本體有兩個圓紙筒，筒內裝有火藥，兩圓筒間以引信連接，施放時向上噴出大量

火花及煙霧。燃放處採得樣品觀察到大量直徑約50-300 μm 之球形微粒（圖3），微粒直徑較其他爆竹煙火殘跡大。研判玻璃板上較小微粒受大直徑微粒遮蔽，故僅採得較大微粒。球形微粒測得主要元素鎂、鋁和銦，與燃放前火藥所含元素相符，但未測得火藥所含之全部元素⁽¹⁾。

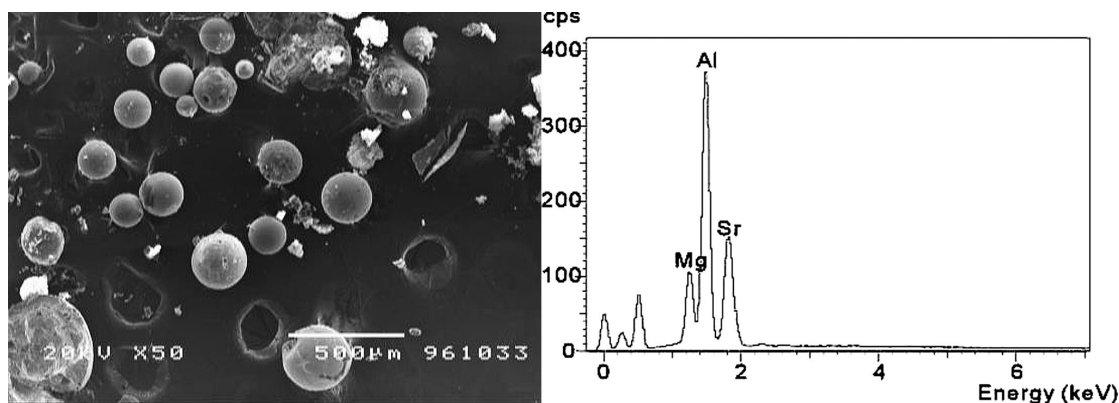


圖3、勝利之花燃放處樣品測得之球形微粒和X射線能譜

四、富貴之星

富貴之星本體為兩端封閉之圓紙筒，筒內裝火藥，一端露出引信，燃放時向上噴出大量火花及煙霧。玻璃板採得樣品測得大量直徑約5-150 μm 之球形及不規則微粒。殘跡微粒組成元素複雜，測得鎂、鋁、硫、鉀、鈣、鋇、鉻、銅元素，與燃放前成分元素相符⁽¹⁾，亦有含少量鐵元素者。許多微粒沾有小區域銅元素（圖4），與文獻報導相同⁽³⁾。研判微粒元素態和化合物成分，從高溫熔融狀態冷卻凝固時，因化學狀態不同而分離析出，分別凝固成不明顯區隔的兩部分。

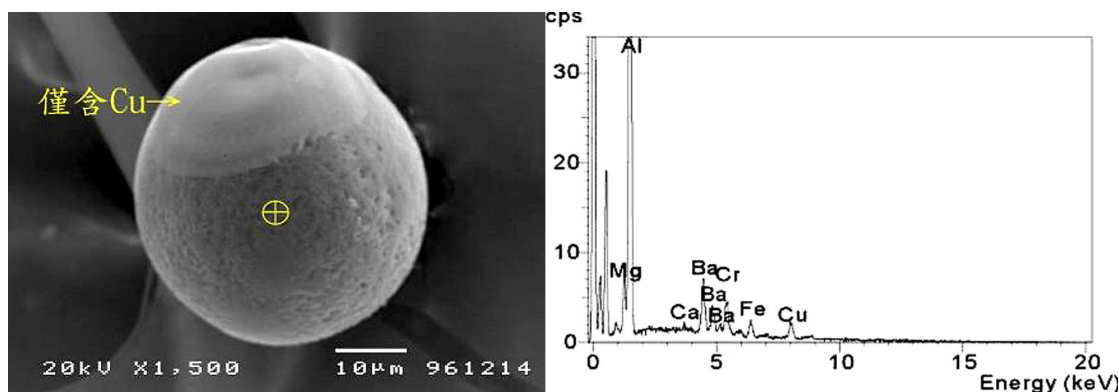


圖4、富貴之星燃放處樣品測得之沾銅球形微粒及其X射線能譜

五、花吹雪

花吹雪為棒狀紙筒，手持燃放時點燃引信，即發出強光並依序噴出多種顏色之火花。燃放

後玻璃板採得樣品測得大量直徑1-150 μ m之球形微粒。大部分微粒之主要元素為鈦，含少量鋁和錒。有外殼含鈦、鐵、銅，內核含銅之球形微粒（圖5），部分球形微粒測得氯元素。

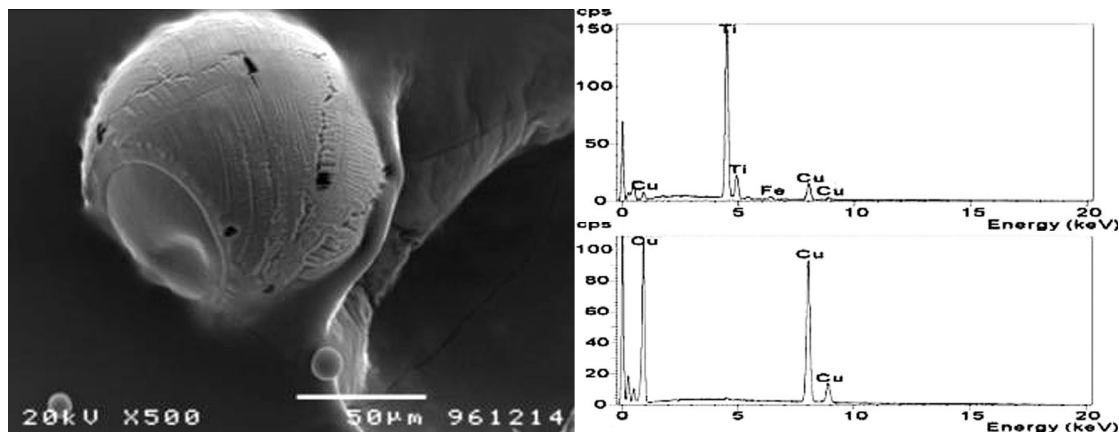


圖5、花吹雪施放處樣品測得外殼（右上）內核（右下）元素組成不同之微粒

六、旋轉花環

旋轉花環的繩狀物內包火藥，再環繞固定在十字形塑膠架頂端，施放時快速旋轉並噴出火花。玻璃板上樣品測得大量不規則微粒及許多直徑5-30 μ m之球形微粒。測得之主要元素為鎂、鋁、氯、鉀和鋇（圖6），次要元素為硫、銅和鋅，並未測得施放前火藥所含之錒元素⁽¹⁾。

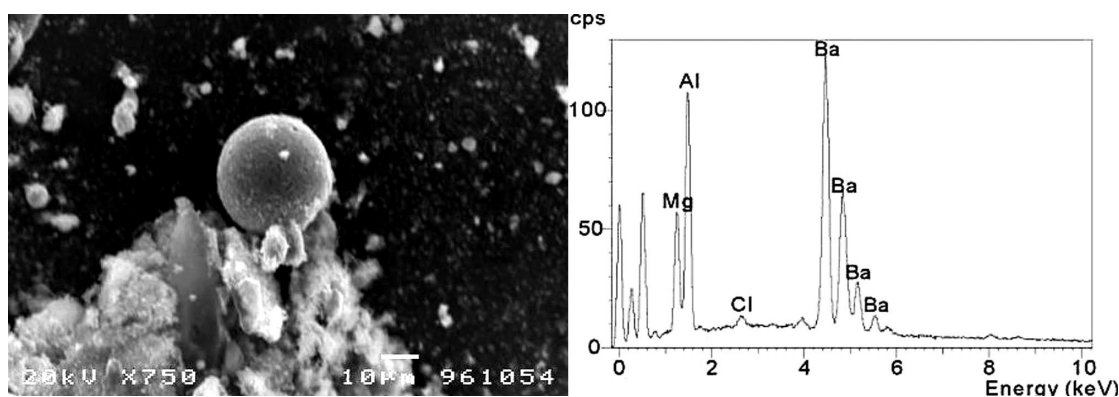


圖6、旋轉花環施放處樣品測得之球形微粒及其X射線能譜

七、大地開花

大地開花為圓形紙筒內裝火藥，引信從側面孔洞伸出。施放時側孔噴出氣體，使紙筒旋轉並噴出彩色火花。玻璃板採得樣品測得大量直徑10-30 μ m之球形微粒及不規則形微粒。元素組成分為三類：第一類含主要元素鎂、鋁、錒、矽、硫、氯、鉀、鈣、鋇（圖7），次要元素鐵、銅和鋅。第二類含主要元素鐵及微量鋁、錳、銅和鋅。第三類主要元素銅及少量鋁、矽、

鉛、鐵和鎳元素，但原始火藥並不含鉛元素。

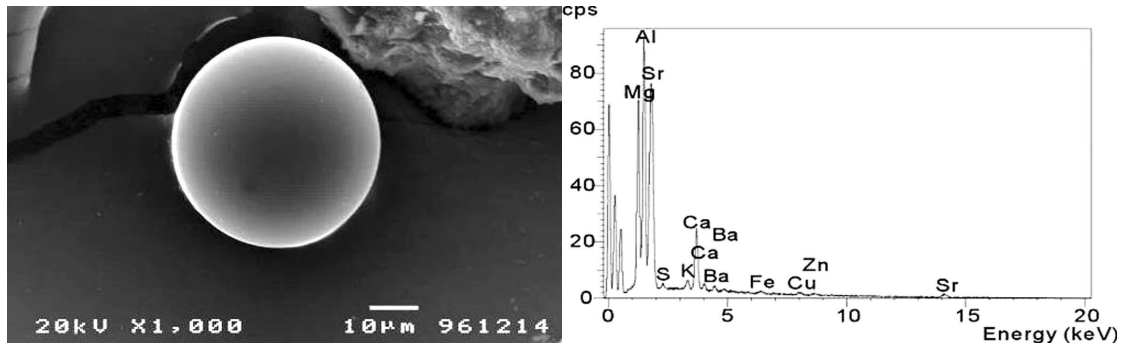


圖7、大地開花燃放處樣品測得之球形微粒及其X射線能譜圖

八、黑蛇

黑蛇為黑色火藥粉末壓製成的圓錠，點燃後發出火光並釋放棕色煙霧，最後留下黑色長條狀殘跡。分析玻璃板上採得樣品，測得大量不規則微粒和少量直徑5-30µm之球形微粒，分析得鉛、鎂、矽和氯等主要元素，次要元素有硫、鉀、銅和鋅（圖8）。

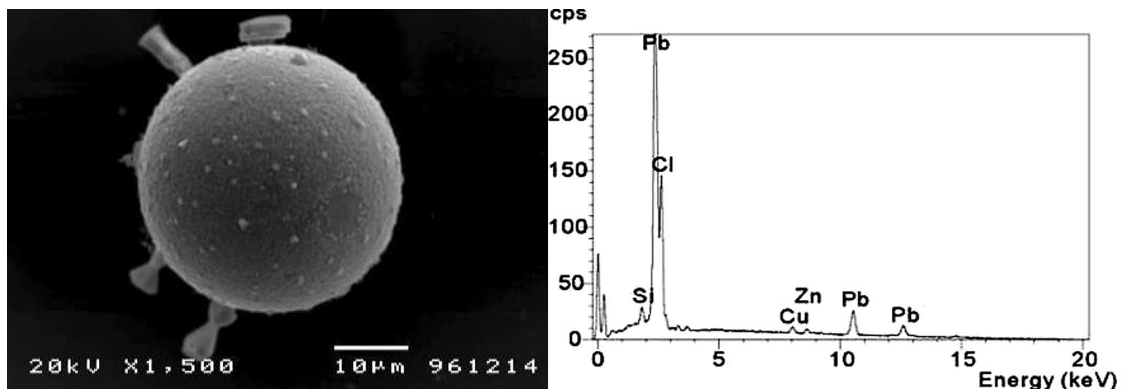


圖8、黑蛇燃放處採得樣品測得球形微粒及其X射線能譜



九、空中彩蝶

點燃空中彩蝶紙筒側孔的引信後，側孔噴出氣體和火花，使空中彩蝶旋轉飛行升空。玻璃板之殘跡樣品測得大量不規則殘跡及極少量直徑 $2-5\mu\text{m}$ 之球形微粒，所含主要元素為鎂、鋁、矽、硫、氯、鉀和鋇（圖9）。施放前火藥所含鋇元素並未出現在玻璃板殘跡中⁽¹⁾。

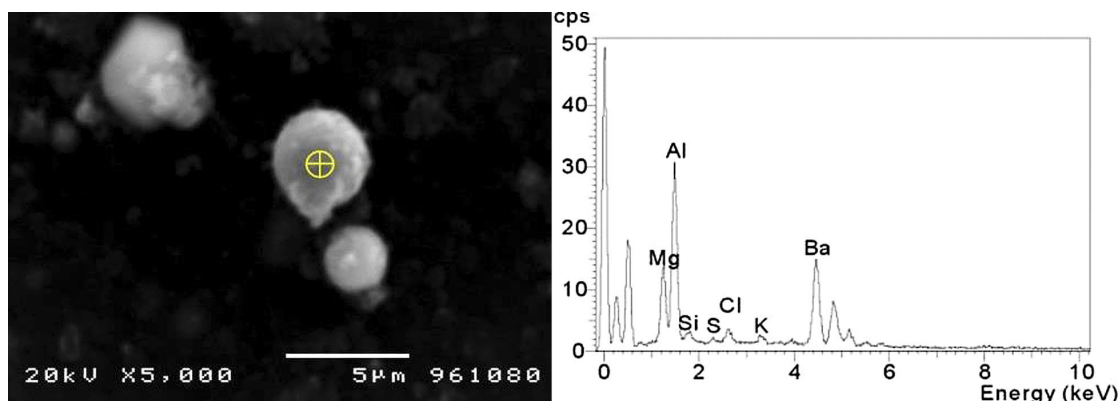


圖9、空中彩蝶施放處採得樣品測得之球形微粒及其X射線能譜

十、吟蟲火箭

吟蟲火箭裝火藥的塑膠管於點燃後，噴出大量氣體和火花，並發出響聲，最後爆炸。玻璃板上樣品測得直徑 $5-30\mu\text{m}$ 之球形微粒及不規則微粒。元素組成分4類，第1類主要含鋁、矽、鉀和鐵，另含鈉、鎂、氯、硫、鈦、銅和鋅（圖10）。第2類含硫和銅，第3類含鈦、鋁、氯和鉀。第4類含鉀、氯、鋁和矽。

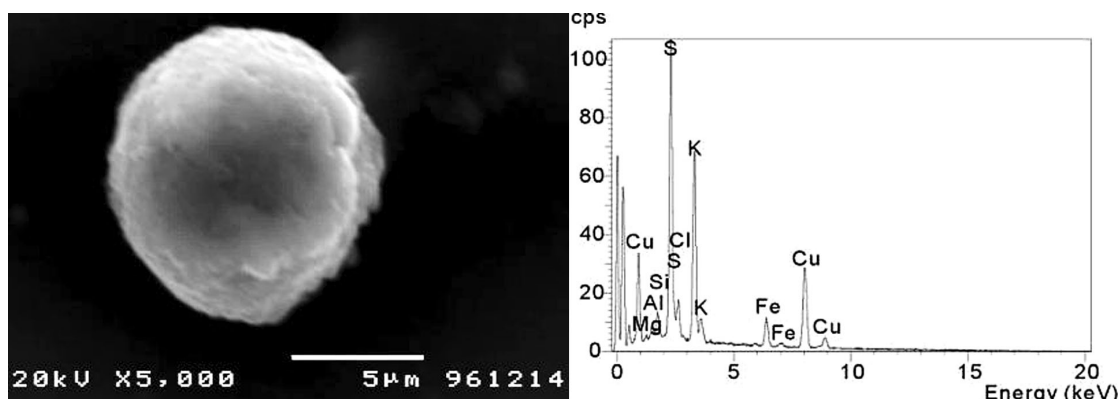


圖10、響笛炮施放處採得樣品測得之球形微粒及其X射線能譜

十一、銀花火箭

銀花火箭施放後，噴出大量氣體，最後爆炸。施放處樣品測得大量不規則殘跡及直徑

5-10 μm 之球形微粒。不規則殘跡包含類球體鉛銻顆粒（圖11）。球形微粒所含元素分為2種：一為鈦、鋁和鉀，另一為鋁、硫和鉀。施放沖天炮測得之類球體鉛銻微粒，屬射擊殘跡相符性微粒，但只要嚴格遵循ASTM E1588-17的射擊殘跡研判標準，即不影響鑑定結果之正確性。

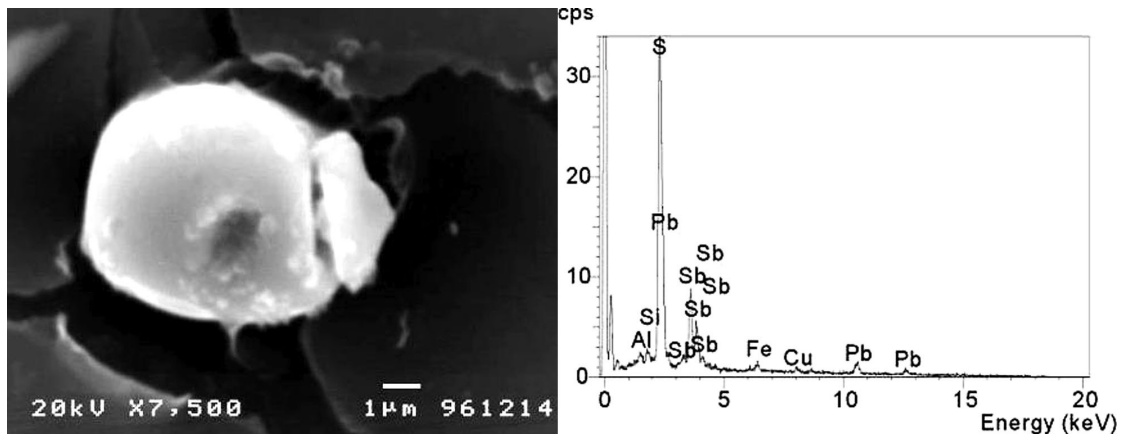


圖11、銀花火箭施放樣品測得之類球體鉛銻微粒及其X射線能譜

十二、空中花園

空中花園點燃引信後，噴出火光和煙並升空，最後在空中爆炸噴出彩色火花。玻璃板上採得樣品測得大量直徑5-10 μm 之球形微粒，測得元素鋁、矽、硫、鉀和氯。施放前空中花園之星體火藥測得與射擊殘跡相關性較高之銀元素⁽¹⁾。施放處殘跡微粒未測得銀元素，顯示升空後星體爆炸之殘跡並未留在玻璃板上。

十三、流星花園

流星花園結構及施放方式與空中花園相同，玻璃板上樣品測得大量不規則微粒和直徑5-20 μm 之球形微粒，含硫、鉀、鎂、鋁、矽和氯等元素（圖12）。

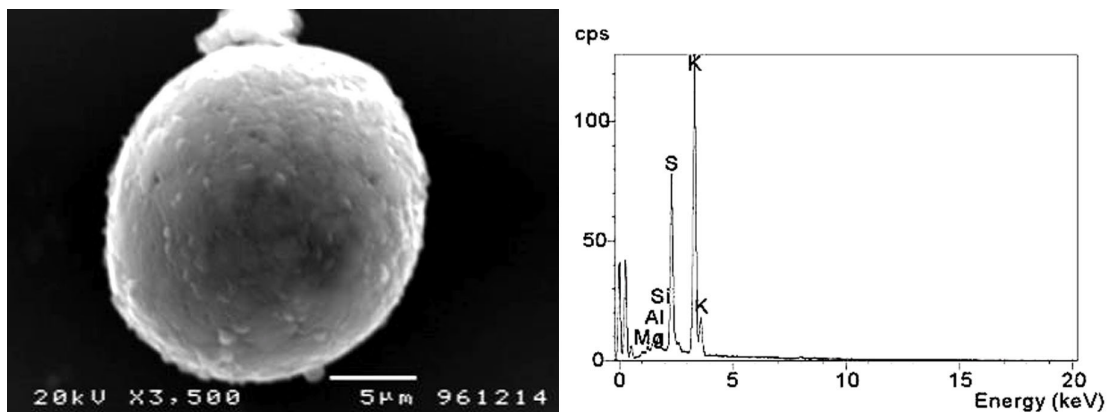


圖12、流星花園施放處採得樣品測得之球形微粒及其X射線能譜

十四、長壽炮

長壽炮由多數裝火藥之圓形紙筒，以引信連接併排而成，燃放時連續爆炸產生爆音。分析時在燃放處樣品測得大量直徑 $5-50\mu\text{m}$ 之球形微粒，含鎂、鋁、矽、硫、氯、鉀和鈣等元素（圖13）。

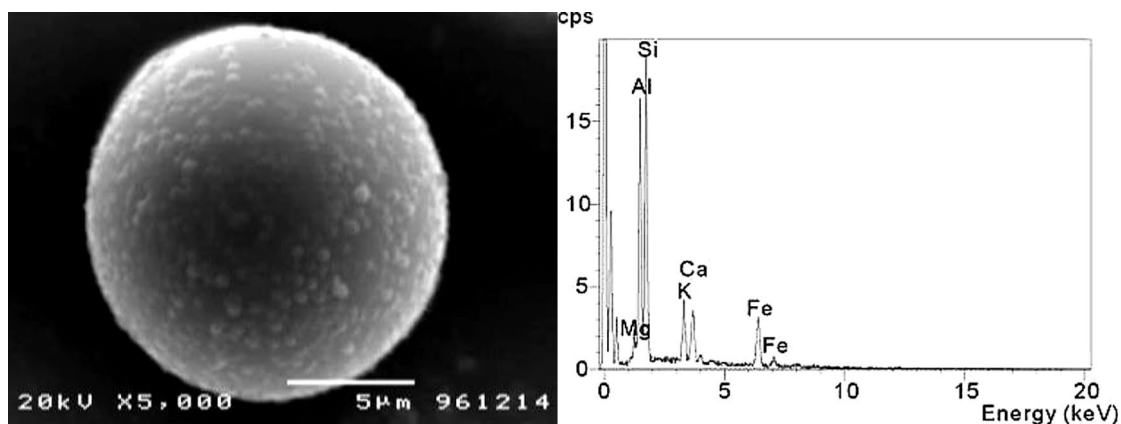


圖13、長壽炮燃放處樣品測得之球形微粒及其X射線能譜

十五、S.H.環保炮

環保炮燃放時產生連續爆炸聲、閃光和煙，玻璃板上樣品測得大量不規則微粒和直徑 $1-30\mu\text{m}$ 之球形微粒，測得元素為鎂、鋁、矽、硫、氯、鉀、鐵、銅和鋅，部分微粒測得鉛元素（圖14），未測得燃放前火藥所含之錒元素⁽¹⁾。

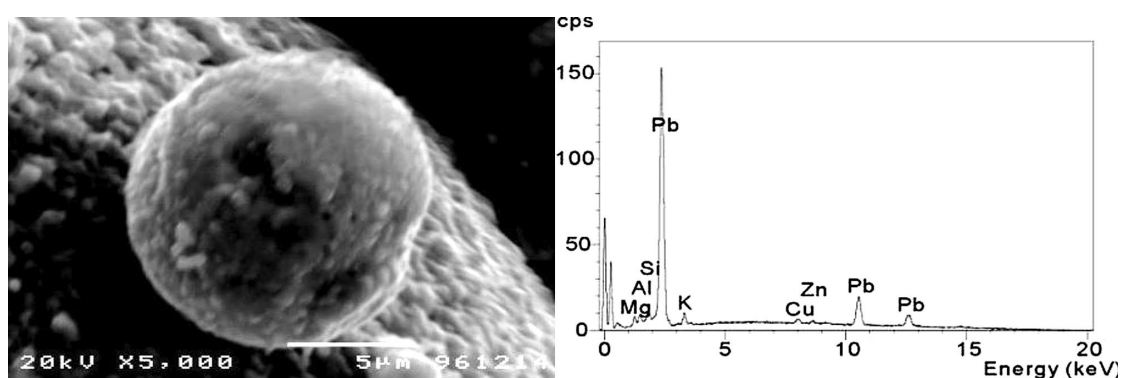


圖14、環保炮燃放處樣品測得之球形含鉛微粒及其X射線能譜

十六、拉炮

拉動拉炮之引線，可發出爆炸聲並將塑膠筒內彩帶射出。玻璃板採得樣品測得許多直徑 $5-20\mu\text{m}$ 之球形微粒和不規則微粒，測得元素有磷、氯、鉀、鋁、矽、銅和鋅（圖15），和施

放前成分元素大致相符⁽¹⁾。

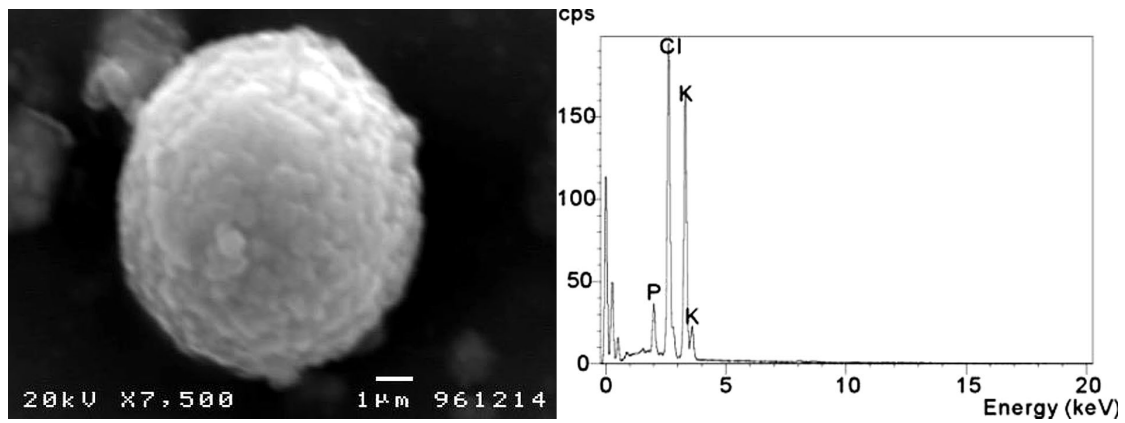


圖15、拉炮施放處樣品測得之球形微粒及X射線能譜

十七、水鴛鴦

水鴛鴦施放時先噴出煙霧及氣體，一段時間後才發生爆炸。分析玻璃板上樣品測得直徑5-30 μ m之球形及不規則形微粒，測得主要元素鎂、鋁、矽、硫、氯、鉀和鋇，次要元素鐵、銅和鋅（圖16），其中鋇元素為射擊殘跡相關元素。

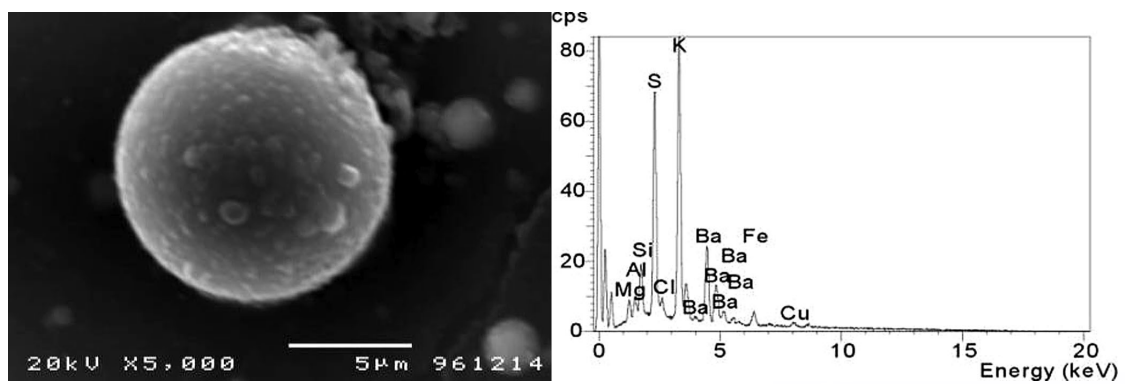


圖16、水鴛鴦施放處樣品測得之球形含鋇微粒及X射線能譜



十八、響珠

響珠點燃引信後連續產生爆炸聲、閃光和煙。分析玻璃板上樣品測得不規則微粒和少量直徑5-30 μm 之球形微粒，測得元素有鎂、鋁、矽、硫、鉀、鈣、鐵、銅和鋅，部分微粒測得射擊殘跡相關元素鉛（圖17）。

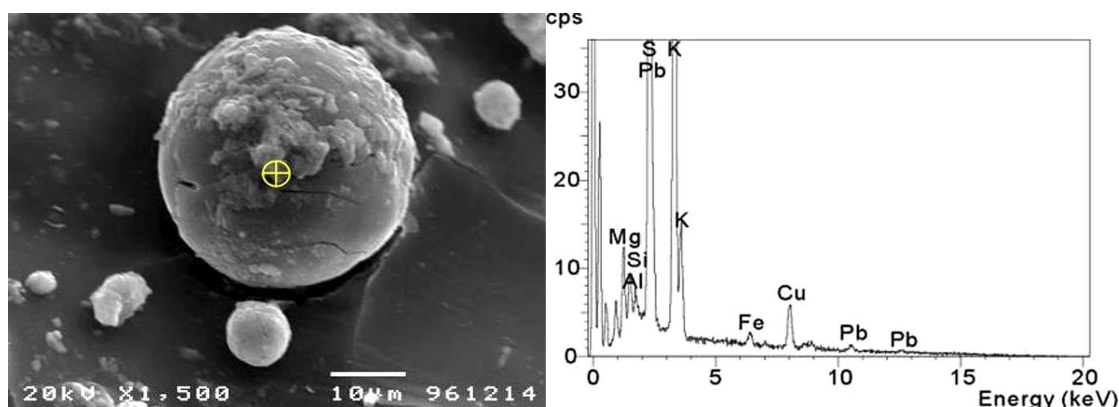


圖17、響珠施放處樣品測得之球形含鉛微粒及其X射線能譜

十九、煙幕彈

煙幕彈施放後可產生大量橙色或白色煙霧。玻璃板上樣品測得大量不規則微粒及少量直徑5-50 μm 之球形微粒。不規則微粒測得鈉、鋁、矽、硫、氯、鉀和鋇等元素。球形微粒分成兩類，一類測得鈉、鎂、鋁、矽、硫、氯、鉀、鋇、銅和鋅等元素（圖18），另一類測得氯、鉀、硫和鈣。

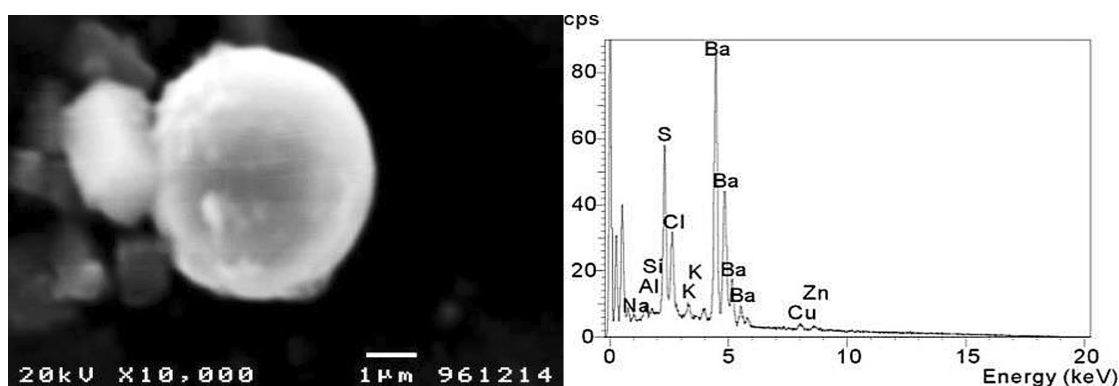


圖18、煙幕彈施放處樣品測得之含鋇球形微粒及其X射線能譜

二十、摔炮

摔炮用力朝玻璃板丟擲，即因撞擊產生爆音、火花和煙霧。玻璃板上樣品測得大量珊瑚狀

不規則形殘跡，測得磷、氯和鉀等元素。

20種常見的爆竹煙火施放處玻璃板上樣品分析結果，19種測得球形火藥殘跡微粒。摔炮爆炸過程並未產生球形殘跡微粒，其殘跡樣品僅測得珊瑚狀火藥殘跡。表1為19種測得球形火藥殘跡微粒的爆竹煙火編號、名稱，及測得微粒之直徑範圍和元素組成。

表1、施放處樣品測得球形火藥殘跡微粒的爆竹煙火、微粒直徑和所含元素

編號	名稱	微粒直徑	殘跡微粒測得元素
1	金鋼棒	1-200 μm	鋁、鈣、鉍、鐵
2	包羅萬象	5-10 μm	鎂、鋁、矽、硫、鉀、鈣、銅、鐵
3	勝利之花	50-300 μm	鎂、鋁、鉍
4	富貴之星	5-150 μm	鎂、鋁、矽、硫、鉀、鈣、鉍、鉻、鐵、銅
5	花吹雪	1-150 μm	鋁、鉍、氯、鈦、鐵、銅
6	旋轉花環	5-30 μm	鎂、鋁、氯、鉀、鉍、硫、銅、鋅
7	大地開花	10-30 μm	鎂、鋁、鉍、矽、硫、鉛、氯、鉀、鉍、鈣、錳、鐵、鎳、銅、鋅
8	黑蛇	5-30 μm	鎂、矽、硫、鉛、氯、鉀、銅、鋅
9	空中彩蝶	2-5 μm	鎂、鋁、矽、硫、氯、鉀、鉍
10	吟蟲火箭	5-30 μm	鈉、鎂、鋁、矽、氯、硫、鉀、鐵、鈦、銅、鋅
11	銀花火箭	5-10 μm	鋁、硫、鉀、鈦、鉛、銻
12	空中花園	5-10 μm	鋁、矽、硫、氯、鉀
13	流星花園	5-20 μm	鎂、鋁、矽、硫、氯、鉀
14	長壽炮	5-50 μm	鎂、鋁、矽、硫、氯、鉀、鈣、鐵、銅、鋅
15	S.H.環保炮	1-30 μm	鎂、鋁、矽、硫、鉛、氯、鉀、鈣、鐵、銅、鋅
16	拉炮	5-20 μm	鋁、矽、磷、氯、鉀、銅、鋅
17	水鴛鴦	5-30 μm	鎂、鋁、矽、硫、氯、鉀、鉍、鐵、銅、鋅
18	響珠	5-30 μm	鎂、鋁、矽、硫、鉛、鉀、鈣、鐵、銅、鋅
19	煙霧彈	5-50 μm	鈉、鎂、鋁、矽、硫、氯、鉀、鈣、鉍、銅、鋅

施放處玻璃板上採得樣品，測得之球形火藥殘跡，直徑大多在1-30 μm 間，也有大於40 μm 者，其中最大微粒為勝利之花殘跡，直徑達300 μm 。可見施放處爆竹煙火殘跡球形微粒的大小雖大部分與射擊殘跡的微粒大小相近，但仍有遠大於射擊殘跡微粒者。

與爆竹煙火原始火藥分析結果相較，施放處殘跡樣品測得之元素與原始火藥的元素組成大致相符，但有時測得之元素較原始火藥少，推測其原因有：因為爆竹煙火所含各類火藥並未均勻混合，故各殘跡微粒間測得元素之變異較大。再者部分爆竹煙火設計成在不同時間呈現不同的發射、爆音、火花顏色和強光等效果，所以煙火內不同成分的火藥都加以區隔，且各種火藥



產生爆燃反應的時間錯開，所以有些火藥殘跡在本體離開燃放處後才產生，故未能測得。另有測得原始火藥不含之元素，可能源自爆竹煙火其他組件之元素。

分析燃放處採得樣品中有13種爆竹煙火殘跡測得鉛、銻、鋇或錒等與射擊殘相關的元素，其中測得鉛、鋇和錒等元素者1種，為大地開花，但3種元素並未同時出現在同一顆微粒中，因此只是射擊殘跡相關性微粒。測得鉛、銻元素者1種，為銀花火箭，2元素出現在同一微粒中，亦即該微粒屬射擊殘跡相符性微粒。測得鉛元素者3種，分別為黑蛇、環保炮和響珠。測得鋇元素者6種，分別為金鋼棒、富貴之星、旋轉花環、空中彩蝶、水鴛鴦和煙霧彈。測得錒元素者2種，為勝利之花和花吹雪。

由於並未測得同時含鉛銻鋇的殘跡微粒，雖大部分爆竹煙火燃放處之火藥殘跡形態和大小與射擊殘跡不易區別，其元素組成仍與特徵性射擊殘跡元素組成不同，只要嚴格遵照ASTM E1588-17所列射擊殘跡判斷原則，爆竹煙火殘跡並不會干擾射擊殘跡的鑑定判斷。惟因我國常見非制式子彈使用煙火藥為發射火藥，並使用玩具底火，其射擊殘跡也不具特徵性元素組成，不易和爆竹煙火殘跡區別⁽⁹⁾。進行射擊殘跡鑑定時，須採取射擊過彈殼內、槍管內或射入口附近射擊殘跡樣品進行分析，以確認其射擊殘跡之元素組成，再與手部射擊殘跡鑑析結果進行比較，才不會做出錯誤的鑑定結論。

肆、結論

在燃放處採得之20種常見爆竹煙火燃放殘跡樣品，以掃描電子顯微/X射線能譜分析法分析結果，並未測得具備射擊殘跡特徵性元素組成的微粒。若能嚴格遵守ASTM E1588-17的射擊殘跡判斷標準，沈積於燃放處所的爆竹煙火殘跡應不會干擾射擊殘跡鑑定結果的判定。

我國非法非制式子彈常以煙火藥為發射火藥，並裝填玩具底火，故若有射擊非制式子彈殺人或自殺的案例，進行疑似射擊者手部之射擊殘跡鑑析時，必須採取射擊過彈殼內、槍管內和被射物彈孔附近的射擊殘跡進行分析，再與手部射擊殘跡樣品分析結果比較，才不會將非制式子彈射擊殘跡誤判為不是射擊殘跡。

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 105-2410-H-015-004。FACT

參考文獻

- 1.孟憲輝，張尊評，國內爆竹煙火所含火藥之掃描電子顯微/X射線能譜分析，警學叢刊，2017，48卷第3期，pp.1-27。
- 2.American Society for Testing and Materials. Standard guide for gunshot residue analysis by scanning electron microscopy/energy dispersive X-Ray spectrometry, ASTM E1588-17, 2017.
- 3.孟憲輝，張尊評，爆竹煙火燃放者手部殘跡對射擊殘跡鑑析之影響，刑事科學，2017，83期，pp.1-20。
- 4.Mejia R, Why we cannot rely on firearm forensics, 23 Nov. 2005, New Scientist.com news service.
- 5.Kosanke KL et al., Characterization of pyrotechnic reaction residue particles by SEM/EDS, J Forensic Sci 2003; 48: 531-537.
- 6.Kosanke KL et al., Pyrotechnic reaction residue particle analysis, J Forensic Sci 2006; 51: 296-302.
- 7.Grima M et al., Firework displays as sources of particles similar to gunshot residue, Sci Justice 2012; 52: 49-57.
- 8.Russell MS, The chemistry of fireworks, 2nd ed. RSC Publishing, UK, 2009, 94-96.
- 9.Lee HC, Meng HH, The Identification of two unusual types of homemade ammunition, J Forensic Sci 2012; 57: 1102-1107.