

物證鑑識在槍擊現場偵查上的應用

孟憲輝*

目 次

- 壹、前言
- 貳、涉案槍枝鑑識
- 參、涉案子彈鑑識
- 肆、射擊後彈頭及彈殼比對
- 伍、槍擊現場微物跡證鑑識
- 陸、槍擊現場生物跡證鑑識
- 柒、彈道重建
- 捌、小結

摘 要

槍擊事件常嚴重危害社會治安，故深受政府和民眾之重視。槍擊過程留下之物證非經鑑定無法用於案件的偵查和審判，故物證鑑定工作是槍擊現場偵查的重點。

本文擇重點闡述涉案槍枝鑑識、涉案子彈鑑識、射擊後彈頭及彈殼比對、槍擊現場微物跡證鑑識、槍擊現場生物跡證鑑識和彈道重建等領域的重要觀念和技術，並舉知名槍擊現場為例，輔助說明，期能增進偵查人員對槍擊現場物證鑑識的瞭解。

槍擊事件常吸引媒體注意，其報導常誤導閱聽大眾，造成執法和司法上

* 孟憲輝，中央警察大學教授兼警察科技學院院長，英國史查克萊大學化學系鑑識科學研究所博士，e-mail: una106@mail.cpu.edu.tw。
本文部分內容為內政部補助政府科技計畫（103-0805-06-05-01）和科技部補助專案研究計畫（NSC 102-2410-H-015-010）之成果，特此致謝！

的困擾。負責偵查和審判的專業人員應委託適當的鑑識機關和鑑定專家，協助進行相關物證的鑑定和槍擊事件的重建，以維持執法和司法的可信和公正。

關鍵字：鑑識科學、物證鑑識、槍擊現場、槍彈鑑識、微物跡證、終端彈道、槍傷

The Application of Physical Evidence Examination to the Investigation of Gunshot Incidents

Meng, Hsien-Hui*

Abstract

Gunshot incidents often seriously jeopardize the safety of the society, thus attract the attention of the government and the people. Physical evidences left on the gunshot crime scene should be forensically examined before they can be utilized to assist the investigation and court judgment of gunshot incidents.

In this article, I described the critical knowledge and techniques for the forensic examination of physical evidences related to gunshot incidents. The topics included in this article are: forensic examination of firearms, forensic examination of cartridges, forensic comparison of fired bullets and cartridge cases, forensic examination of trace evidences, forensic examination of biological evidences, and ballistic reconstruction of gunshot incidents. Well-known gunshot cases are taken as examples to illustrate the described contents. Hopefully, this will improve the investigators' understanding concerning the forensic investigation of gunshot cases.

Gunshot incidents often became high-profile news. And the misleading information provided by public media often interferes with the investigation and court judgment of the gunshot incidents. Thus the prosecutors' office and the court should ask for assistance from forensic experts to conduct the examination of related physical evidences and the reconstruction of gunshot incidents to maintain

* Meng, Hsien-Hui, Ph. D., Professor and Dean of Science and Technology College, Central Police University, e-mail: una106@mail.cpu.edu.tw.

This article is partially based upon the works supported by The Ministry of the Interior (103-0805-06-05-01) and The Ministry of Science and Technology (NSC 102-2410-H-015-010).

刑事政策與犯罪研究論文 (18)

the reliability and justice of law enforcement and court judgment.

Key Words : forensic science, physical evidence examination, gunshot crime scenes, firearms examination, trace evidences, terminal ballistics, gunshot wounds

壹、前言

槍擊案件常造成嚴重之身體傷害、生命損失和財物破壞，因此一直深受全民的關注。執法機關對槍擊案件的偵查也特別重視，無不全力投入，期能盡快破案，以維護社會治安並安定民心。以 104 年 2 月 11 至 12 日高雄監獄發生的受刑人搶奪監獄槍彈挾持人質事件為例，該案在 6 名嫌犯舉槍自盡解除危機後，特定媒體名嘴對案情提出質疑¹，導致部分民眾對嫌犯的死因產生懷疑，嚴重威脅司法公信，後來經由物證鑑識結果釐清案情，還原真相，才使整個事件順利落幕。前往支援處理挾持案件的高雄市政府警察局員警，與嫌犯發生槍戰並成功阻止越獄，但所持的防彈盾牌卻遭嫌犯射擊之彈頭貫穿²，此一異常現象也是根據槍彈鑑識結果，得到合理解釋，解除大眾的疑慮。

就一般槍擊案件而言，現場可採得或記錄之跡證至少包括：槍枝、子彈、射擊後彈頭和彈殼、微物跡證、生物跡證、終端彈道型態和槍傷型態等，針對此等跡證進行鑑定，所得資訊可用來研判案件類型、釐清案情、重建槍擊事件、確認涉案槍枝、連結相關人與物、證明犯罪事實，提供偵查線索和資料，進而協助偵破刑案，並在法庭提供證據，作為審判之依據及參考。故在涉及槍彈之刑案中，物證鑑識不論在偵查或審判階段，都扮演了關鍵性的角色。本文將分別闡述槍擊案件中各類物證的鑑識原理與方法，以促進偵審人員對槍擊物證鑑識的瞭解，並推廣鑑識科技的應用，以維護司法公平與正義。

貳、涉案槍枝鑑識

不論是槍擊現場採得或偵查階段查獲之槍枝，都須進行完整的鑑識。槍枝鑑識的重要內容包括：槍枝辨識特徵鑑定、槍枝性能測試和殺傷力鑑定。分述如下：

一、槍枝辨識特徵鑑定

鑑定槍枝辨識特徵可確認槍枝「身分」、追查來源、確認製造年分，不

¹ 高雄監獄案 法醫高大成質疑自殺，中央社，台北，2015 年 2 月 17 日電。

² 高雄監獄挾持案 警防彈盾牌被子彈貫穿，自由時報，2015 年 2 月 12 日。

僅有助於案情研判、提供線索、縮小嫌犯範圍，且對證物監管、試射取樣、初步鑑識、槍枝資料建檔、槍枝證物和相關資料的存取等均有助益。

槍枝的第一個辨識特徵是槍枝種類，常見涉案槍枝可概分成手槍、衝鋒槍、步槍、散彈槍和空氣槍等五大類，各類再依結構、操作方式、功能之不同分別細分成數小類³。例如手槍可細分為單發手槍、Derringer 手槍、轉輪槍和半自動手槍，又如步槍可分為單發步槍、桿動式步槍、滑動式步槍、栓動式步槍、半自動步槍和自動步槍。俗稱克拉克手槍的 Glock 半自動手槍為我國常見的涉案手槍，其外觀如圖 1。



圖 1 我國常見的涉案槍枝 Glock 廠 19 型半自動手槍

槍枝口徑是另一個重要的辨識特徵，可分為名義口徑和明確口徑⁴。具來復線槍枝的名義口徑，乃指槍管兩相對來復線陽線間的直徑。一般以英吋或公厘 (mm) 表示，例如：.22、.38、.45 英吋，或：5.56、7.62、9mm 等。明確口徑則除槍管直徑外，另含適用子彈的彈殼長度。以 9mm 名義口徑槍枝為例，其明確口徑又有 9mm Luger、9mm Makarov、9mm Short 等差異，其槍管直徑均為 9mm，但適用子彈的彈殼長度（亦即槍管彈室長度）則分別為 19mm、18mm 和 17mm。唯有明確口徑相同的槍枝和子彈組合，才能安全實施試射鑑定，故辨識槍枝特徵時，必須量測並記錄其明確口徑。

³ 孟憲輝 (2002)，輕型槍枝辨識特徵綜論，刑事科學，53：103-128。

⁴ Heard, B. J. (1997), Handbook of firearms and ballistics-Examining and interpreting forensic evidence, UK, John Wiley & Sons, pp25-26.

槍枝標記也是辨識槍枝的重要特徵，首先需辨識廠牌、商標、型號、口徑、商品名、製造國和警語等特徵，接著必須辨識槍枝序號和驗證標記⁵。槍枝序號有如身分證字號，是每支槍獨有的辨識碼，其內容有時還包含廠牌、型號或製造年分的暗碼。驗證標記是確保槍枝使用安全的官方檢驗標記，除驗證等級外還包括驗證機構和年分的標記，有利於追查槍枝來源⁶。

以前述高雄監獄挾持人質事件為例，6 支涉案手槍之辨識特徵，經鑑定均為中華民國製造之 T75 型半自動手槍，明確口徑為 9×19mm，槍號則為 P01XXXX，如圖 2 所示。4 支涉案步槍之辨識特徵，經鑑定均為中華民國製造之 T65 K2 型自動步槍，明確口徑為 5.56×45 mm，槍號則為 221XXX。



圖 2 槍枝標記可供辨識製造國、型號和槍枝序號

二、槍枝性能測試

槍枝性能直接影響其火力、彈道表現和安全性，進行槍枝鑑定時必須測試其操作性能及安全性能。一個完整的射擊循環包含擊發、開栓、抽殼、拋殼、後座到位、復進、裝填、閉鎖和待擊發等動作，其安全性能包含自動保險、次自動保險和手動保險的操作。測試槍枝性能前先分解槍枝，瞭解其構造和操作方式，以擊發操作為例，可分成手動操作和自動操作兩類，手動操作又有折斷式、栓動式、滑動式、桿動式、轉輪式等多種，自動操作則分前擊式、後擊式、延遲後擊式、反作用式、氣體操作式等，有些自動操作方式則可再細分。如反作用式分為短反作用式和長反作用式兩類，氣體操作式分成氣體直接操作、活塞短行程和活塞長行程。前述之 T75 型半自動手槍之操作方法為為槍管水平後座短反作用式，T65 K2 型自動步槍則為活塞短行

⁵ 羅元雅，孟憲輝（2005），驗證標記在槍彈鑑識之應用，刑事科學，58：59-72。

⁶ Meng, H. H. (2012), Determination of manufacturing date of confiscated shotguns-A case report," Forensic Sci J, 11：41-53.

程氣體操作式。

接著以空槍進行性能操作測試，確認操作性能正常後，再依序進行啞彈、火藥減量子彈和全彈之性能測試和實彈測試。並根據測試結果，作為研判槍擊事件案情、查證嫌犯和目擊者供述之依據。若嫌犯宣稱意外擊發槍枝，則除進行保險裝置性能測試外，尚需進行扳機拉力之量測鑑定⁷。

三、槍枝殺傷力鑑定

我國「槍砲彈藥刀械管制條例」將「其他可發射金屬或子彈具有殺傷力之各式槍砲」列為管制槍枝，因此對於土改造槍枝和非制式的氣體動力式槍枝都必須進行殺傷力鑑定，才能確認涉案槍枝是否為管制武器。司法實務上將槍枝殺傷力之判定標準定義為「在最具威力之適當距離，以彈丸能穿過人體皮肉層之動能為標準。」鑑識實務引用日本之研究結果，採 20 焦耳/平方公分 (J/cm^2) 為穿透人體皮肉層所需之最低截面動能，供為研判槍彈殺傷力之依據⁸。動能測定法是常見的槍枝殺傷力鑑定方法，鑑定時擊發槍枝，在距槍口一定距離處利用彈頭測速器測定彈頭射速。我國鑑識實務使用之彈頭測速器具備一精密計時器 (chronograph) 和兩個間距固定的光柵，光柵下方各有一個感應器，射擊時使彈頭先通過第 1 個光柵，產生之陰影觸動第 1 感應器，啟動計時器。彈頭經過第 2 個光柵時，產生之陰影觸動第 2 感應器，關閉計時器，測得彈頭通過 2 光柵所需之時間。2 光柵之距離除以彈頭經過 2 光柵所需時間，即得彈頭射速。射擊後回收彈頭測量其質量和直徑，根據下列公式計算彈頭截面動能以研判彈頭殺傷力⁹。

$$E = mv^2/2 \quad (1)$$

$$a = \pi r^2 \quad (2)$$

$$ED = E/a \quad (3)$$

其中 E 、 m 、 v 、 a 、 r 、 ED 分別為彈頭動能、質量、射速、截面積、半徑和截面動能。

也有於槍枝試射時，在距槍口一定距離處放置貫穿動能略大於 20 J/cm^2

⁷ 孟憲輝，蔡依庭 (2006)，涉案九公厘口徑半自動手槍扳機拉力測定，刑事科學，60：103-116。

⁸ 孟憲輝 (2010)，空氣槍鑑識相關問題探討，警學叢刊，41 (1)：63-86。

⁹ 孟憲輝 (2015)，環境溫度對彈頭動能之影響，執法新知論衡，11 (1)：1-8。

之監測鋁板，若試射彈頭貫穿監測板，即判定鑑定槍枝具殺傷力¹⁰。槍枝殺傷力鑑定裝置如圖 3 所示。前述方法和判定標準也適用於涉案子彈之殺傷力鑑定。

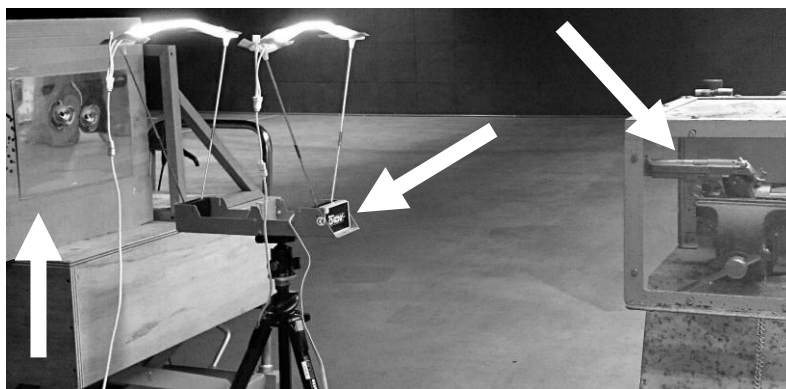


圖 3 槍枝殺傷力鑑定裝置，由左至右依序為監測鋁板、彈頭測速器、待鑑槍枝。

參、涉案子彈鑑識

常見涉案子彈可分成手槍彈、步槍彈和散彈三類，手槍彈除供手槍使用外，也供衝鋒槍使用。由於歹徒射擊前常操作槍枝將子彈上膛，若槍枝已上膛，則此動作會拋出未擊發子彈，留在現場，故槍擊現場採得完整子彈之狀況並不罕見。查獲涉案槍枝時也常一併查獲子彈，彈匣內也常裝有子彈。常見涉案槍枝所用之子彈多為動能彈，射擊時僅賴彈頭之動能造成殺傷和破壞，完整子彈之結構包括拋射體、彈殼、發射火藥和底火，散彈則另含彈杯和各種填塞物¹¹。

鑑定涉案子彈首先由全彈形狀判斷其種類，接著經由量測彈頭直徑和彈殼長度確認其明確口徑，並觀察記錄子彈上之標記，獲得廠牌型號相關資訊，以縮小涉案槍枝的範圍，提供偵查方向。彈殼底部之彈底標記可提供主要資訊，邊緣底火子彈之彈底標記位於彈殼底部中央，多為代表廠牌之字母、符號或圖案，如 E 表 Elley 公司生產子彈。中央底火子彈之彈底標記位於彈殼底部底火周圍，由字母、數字、符號或圖案所組成，民生子彈的彈底標記

¹⁰ Lee, H. C., Meng, H. H. (2011), The development of witness plate method for the determination of wounding capability of illegal firearms, *Forensic Sci J*, 10: 19-28.

¹¹ 孟憲輝 (1999)，子彈分類特徵綜論，*刑事科學*，48：23-36。

包含子彈廠牌和明確口徑等資訊，如 Winchester 9mm Luger。在軍用及警用子彈的彈底標記常含生產年份，如高雄監獄挾持人質事件涉案手槍彈之彈底標記為 9mm 14，表 2014 年生產之 9mm 口徑子彈，涉案步槍彈之彈底標記為 5.56 13，表 2013 年製造之 5.56mm 口徑子彈。又如我國警用子彈之彈底標記 NPA 13，NPA 表內政部警政署，13 表 2013 年製造。散彈之彈殼側面另有其他標記，提供彈粒號數、彈粒重量、射速、子彈口徑、廠牌和型號等訊息。我國常見涉案子彈外觀如圖 4 所示。



圖 4 我國常見涉案子彈外觀

彈頭的形狀、構造和材質也是鑑定重點，可供研判終端彈道特性和子彈來源，也可與彈孔或跳彈痕跡採得微物進行分析比對，以便重建彈道。彈頭材質主要為含少量銻的鉛，有些鉛彈頭表面覆一層薄銅，大部分現代彈頭的鉛核外包一層銅鋅合金包衣，部分軍用彈頭有鋼核，但也有材質較特殊之涉案彈頭¹²。彈頭形狀一般分為圓頂彈頭、尖頂彈頭、平頭彈頭、半平頭彈頭和中凹彈頭。彈頭的構造則變化極大，許多特殊構造的彈頭，可直接由其特徵研判廠牌。前述高雄監獄挾持人質事件涉案手槍彈頭經鑑定為圓頂全金屬包衣彈，涉案步槍彈頭則為尖頂全金屬包衣彈。

散彈的拋射體除少數單一巨型彈丸 (slug) 外，都是球形彈粒，依尺寸分成獵鳥彈和獵鹿彈兩類，各有其號數以標示其大小，最小的獵鳥彈是 12 號，直徑 0.05 英吋，接著逐漸變大，號數變小，依序從 11 到 2，最大的是 BB，BB 獵鳥彈直徑 0.18 英吋。獵鹿彈粒較獵鳥彈大，最小者為 B4 號，直

¹² Meng H. H., Chen Y. L. (2006), Energy dispersive X-ray analysis of bullets commonly encountered in Taiwan, *Forensic Sci J*, 5: 21-34.

徑 0.24 英吋，接著依序為 B3、B2、B1、0、00、000，000 號獵鹿彈直徑 0.36 英吋，直徑大於 9mm 手槍彈頭。常見散彈粒材質有鉛、鉛錫合金、鋼鐵和塑膠等。

子彈的底火分成邊緣底火及中央底火兩類，前者將底火藥裝於彈殼底部邊緣內，與發射火藥直接接觸。後者具底火皿內裝底火藥，置於彈殼底部中央底火袋內，由導火孔將擊發底火產生之高熱物質導入藥室引燃發射火藥。我國常見涉案子彈除 .22 邊緣底火子彈外，均為中央底火。中央底火因構造和用途分成 Berdan、Boxer 和 Battery Cup 三種。Boxer 和 Berdan 底火用於手槍彈和步槍彈，Battery cup 底火結構較大較複雜，專用於散彈，各種底火的結構可參閱文獻的附圖¹³。底火藥的成分直接影響射擊殘跡的元素組成，是射擊殘跡鑑定的基礎資料¹⁴。

涉案制式子彈的發射火藥都是無煙火藥，硝化纖維為主成分，雙基無煙火藥另含硝化甘油主成分，各廠牌無煙發射火藥另含少量之安定劑、塑化劑、火焰抑制劑、氧化劑及其他微量成分。發射火藥顆粒外形分為圓片、有孔圓片、矩片、圓柱、有孔圓柱、球狀、壓扁球狀及不規則狀等。射擊後在被射物、槍口附近之人和物、彈殼和槍枝上可採得燃燒不完全的火藥顆粒，其形狀及成分和未擊發子彈內之火藥特徵相同，可用來產生連結，重建槍擊事件。

肆、射擊後彈頭及彈殼比對

射擊後彈頭和彈殼的比對鑑定是傳統槍彈鑑識的核心。射擊具來復線槍枝，可在射出彈頭上留下來復線刻劃痕，此等痕跡具有可研判射擊槍枝廠牌型號的分類特徵，也有可確認涉案槍枝的個別特徵。來復線為槍管內呈螺旋狀的一組凹槽，兩凹槽間為凸起部分，凹槽部分為陰線，凸起者為陽線。射擊時彈頭受陽線導引而旋轉向前，射出槍管後繞軸自轉前進，獲得自旋穩定，進而增加射程及準確度。來復線呈順時針旋轉者稱右旋，逆時針旋轉者稱左旋，每旋轉一圈所經之長度稱為纏距，來復線數目以4至6條最常見，射擊後來復線可在彈頭表面留下刻劃痕，其中陽線刻劃痕較明顯，痕跡特徵也較多。槍管內右旋來復線之形態如圖5。

¹³ 孟憲輝等（1998），散彈槍射擊後彈殼上特殊紋痕之研究，刑事科學，45：1-12。

¹⁴ Charles, S., et al（2011），Primer composition and memory effect of weapons- Some trends from a systematic approach in casework, Forensic Sci Int, 212：22-26.

彈頭上來復線刻劃痕的分類特徵包括來復線的類型、數目、旋向、寬度和纏距等，另有依工具痕跡原理，由槍管坡膛、來復線和槍口弧形所留下的條碼狀細微特徵。由於槍管製造過程涉及數道隨機步驟，因此每支槍管內表面的製造痕跡都各不相同，留在彈頭的條碼狀細微特徵也各不相同，在比對顯微鏡下進行比對鑑定可以用來確認涉案槍枝。更因槍管和彈頭的硬度差異極大，每次射擊時槍管特徵的改變極小，故其在彈頭上留下之特徵再現性甚高，即使經過多次射擊，仍可比對出不同彈頭是否由同一槍枝所擊發。



圖5 槍管內右旋來復線之形態

彈頭來復線痕跡之人工比對極為耗時，若欲進行大量樣品比對或與前案樣品比對，常需浪費大量人力和時間。我國刑事警察局鑑識科槍彈股購置有「整合彈道辨識系統」(IBIS)，可進行自動化比對，篩檢出可能吻合的檔案。比對前需先利用彈頭 3D 特徵擷取工作站，攝取彈頭表面的來復線刻劃痕立體特徵，經數學運算萃取出其特徵，並儲存建檔。將欲比對樣品之特徵檔與資料庫中檔案的特徵檔進行自動化比對，可快速篩檢出特徵相似度高的檔案，縮小範圍，再由鑑識專家進行人工比對確認。彈頭來復線條碼狀細微特徵比對吻合之例如圖 6 所示。廣大興漁船遭菲律賓海巡人員槍擊案，即經彈頭比對鑑定，確認殺害我漁民之兇手。

射擊時，從裝填子彈起至退出彈殼止，彈殼在各步驟都與槍枝相關組件相互作用，而留下可供分類及個化之工具痕跡特徵，常見痕跡有：(1) 撞針痕：為撞針撞擊底火所留下的工具痕跡。(2) 彈底紋：是底火藥和發射火藥爆炸時，推動底火皿突出及彈殼向後撞擊槍機面所形成之工具痕跡。(3) 爪子痕：是爪子鉤在子彈裝填、擊發和退殼等階段，在彈殼底部凹槽及底部邊緣所留下之工具痕跡，只有具爪子鉤槍枝才可能留下，轉輪槍射擊後彈殼則無此痕跡。(4) 退殼痕，係彈殼後退撞擊退殼鉞，於彈殼底面留下之工具痕跡。退殼痕和爪子痕的形狀和相關位置，是良好的分類特徵，只有

具退殼鋌槍枝才可能留下退殼痕。(5)彈室痕：是擊發時彈殼膨脹壓印彈室內壁或彈殼後座及抽殼時彈殼刮擦彈室內壁形成之痕跡。(6)彈匣痕：子彈上膛時，彈殼側面刮擦彈匣唇或彈殼底面刮擦彈匣阻片，所形成之刮擦痕跡。(7)撞針滑痕：後座時槍管下滑之短反作用式槍枝，在槍管下滑階段，尚未縮回的撞針刮擦槍管內之彈殼底部，形成的凹槽狀痕跡。(8)撞針洞印痕：擊發時底火藥爆炸將底火皿向後推，接著高壓火藥燃氣推彈殼撞向槍機面，底火皿撞針痕周圍之材料擠入槍機之撞針洞而形成印痕。(9)撞針洞刮擦痕：後座時下滑槍管內彈殼底部刮擦槍機面形成之刮擦痕跡，具高度的個化價值。

整合彈道辨識系統也可進行射擊後彈殼底火皿上3D痕跡的建檔，並進行自動化比對，比對時系統軟體可將彈底紋痕和撞針痕旋轉360度，逐次比對找出最佳之吻合角度及位置，快速篩檢出特徵相似度高的彈殼底部紋痕檔案，縮小範圍，再由鑑識專家進行人工比對確認。彈殼底部彈底紋特徵比對吻合之例如圖7所示。

鑑識人員在高雄監獄挾持人質事件採得射擊後手槍彈頭3顆、手槍彈殼13顆、步槍彈殼104顆。現場手槍彈頭經比對結果，與其中1把涉案手槍之試射彈頭吻合，現場手槍彈殼經比對結果，則分別與其中5把涉案手槍之試射彈殼吻合。由遭挾持典獄長攜出之手槍試射所得彈頭與彈殼，經比對鑑定，則未與任何現場彈頭和彈殼吻合。現場步槍彈殼經比對鑑定結果，分別與4把涉案步槍之試射彈殼吻合，比對結果顯示現場彈頭和彈殼，均來自涉案槍枝。

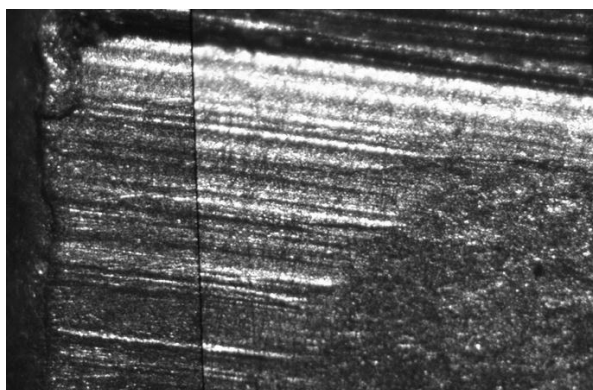


圖 6 彈頭來復線條碼狀細微特徵比對吻合之例

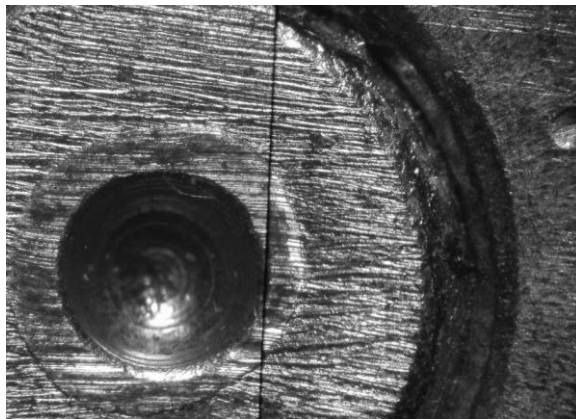


圖 7 彈殼底部彈底紋特徵比對吻合之例

伍、槍擊現場微物跡證鑑識

射擊殘跡是擊發槍枝時排出於槍枝周圍的固態微粒和氣態成分混合物，是槍擊現場最重要的微物跡證，經鑑定後可用來研判射擊距離、確認彈孔、研判一人曾否接觸槍枝或曾在槍擊現場，並可協助重建槍擊現場。射擊殘跡依成分可分為無機射擊殘跡和有機射擊殘跡，所含成分之來源有底火藥、發射火藥、彈頭、彈殼、潤滑劑、槍管內沈積物等。

典型的無機射擊殘跡呈微粒狀，具有類球體的形態特徵，含鉛、銻、鋇的特異性元素組成，直徑以微米計。其中射擊殘跡微粒之形態和大小不因子彈種類不同而有太大變化，但組成元素則可能因底火、彈頭和發射火藥成分之變化而不同。雖然大部份涉案子彈射擊後均能產生含鉛、銻、鋇特異性元素組成的球形射擊殘跡微粒，但有些只能產生含 3 種元素中之 2 種或 1 種元素的射擊殘跡，隸屬警政署的警察機關使用無毒底火子彈，其射擊殘跡則完全不含鉛、銻、鋇^{15,16}。無機射擊殘跡微粒可用掃描電子顯微/X 射線能譜分析法鑑定，採自射擊者手上的樣品可研判其涉案情形，採自被射物和彈孔者，可用於確認彈孔或槍傷。在一個高度爭議的槍擊事件中，鑑定被害人槍傷組織樣品結果，發現組織中有來自彈頭的類球形鉛微粒，因而增加了槍傷研

¹⁵ Meng, H. H., Lee, H. C. (2007), Elemental analysis of primer mixtures and gunshot residues from handgun cartridges commonly encountered in Taiwan, *Forensic Sci J*, 6 (1) : 39-55.

¹⁶ Lee, H. C., Meng, H. H. (2012), The Identification of two unusual types of homemade ammunition, *J Forensic Sci*, 57 (4) : 1102-1107.

判的確定性，使該案為槍擊事件之性質得以確定¹⁷，槍傷組織樣品測得彈頭殘跡微粒的掃描電子顯微影像和 X 射線能譜圖如圖 8 所示。

高雄監獄挾持人質事件之涉案槍彈並非警用槍彈，而是由法務部購自國防部所屬兵工廠生產之國造武器，其射擊殘跡具特異性的鉛、銻、鋇元素組成，嫌犯手部射擊殘跡樣品鑑定結果，測得之無機射擊殘跡均具特異性，證明嫌犯曾開槍射擊，與偵查所得案情相符。

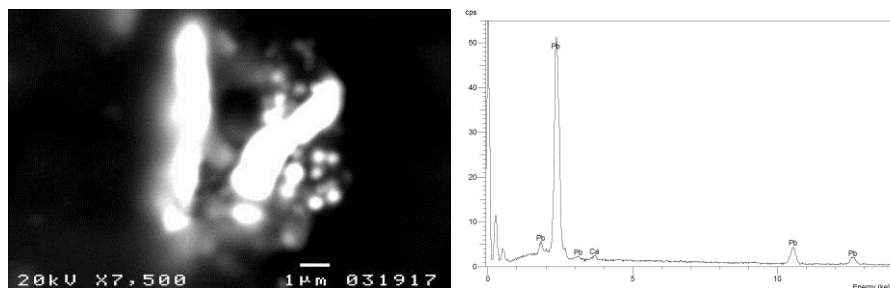


圖 8 槍傷組織樣品測得彈頭微粒的掃描電子顯微影像和 X 射線能譜圖

自槍口噴出的射擊殘跡含大量有機火藥成分，射擊距離較近時，目視即可辨別，隨射擊距離增加，其分布密度變小，但分布範圍變大，可與已知射擊距離的相同槍彈試射結果比對，以研判射擊距離。比對鑑定時常用非破壞性觀察法，被射物為淺色背景時在可見光下觀察即可。深色被射物表面之射擊殘跡可利用有機火藥殘跡對紅外線吸收較強之特性，進行紅外線攝影，觀察較暗的射擊殘跡分布。也可利用短波長光源照射，使射擊殘跡產生螢光，進行觀察。使用 X 光螢光掃描成像法 (X-ray fluorescence mapping) 也可檢測無機射擊殘跡的分布型態。進行化學試劑呈色試驗也可確認彈孔及研判射擊距離，其中格里斯試劑 (Griess reagent) 用以檢測火藥殘跡，若帝酸鈉試劑 (sodium rhodizonate) 用以檢測射擊殘跡中鉛和鋇元素的分布，紅氨酸試劑 (rubeanic acid) 則可檢測來自彈頭的銅元素殘跡。

槍口裝置 (如防火帽) 常可使射擊殘跡呈現瓣狀分布，沈積在槍口附近物體表面，在一件軍中士兵槍擊致死的爭議性案件審判過程，法官即根據鑑定人觀察到死者左手的瓣狀火藥殘跡煙燻痕，認定槍擊時死者左手握住步槍槍口的防火帽，判定死者係遭有防火帽的步槍近距離射擊而致命，並非遭無防火帽手槍遠距射擊致死¹⁸。

¹⁷ 臺灣臺南地方法院檢察署 94 年度偵字第 9448、9449 號檢察官不起訴處分書。

¹⁸ 臺灣高等法院 102 年度上國字第 12 號民事判決。

檢測彈孔、槍管、彈殼及被射物表面之射擊殘跡時，其成功率甚高。但進行射擊者手部射擊殘跡鑑定時，常受槍枝結構、射擊姿勢、彈藥成分、血跡覆蓋、射擊後之活動和清洗等因素之影響，其檢出成功率較低，因此不可因未檢出射擊殘跡，即研判為不曾射擊或和槍擊事件無關。針對實際槍擊案例的研究結果顯示¹⁹，射擊各類槍枝的射擊者，其手部射擊殘跡分析為陽性結果之百分比為：半自動手槍 47%、轉輪手槍 28%、步槍 43%、散彈槍 43%。另一射擊者手部射擊殘跡分析之案例研究結果顯示²⁰，陽性結果之百分比為：半自動手槍 27%、轉輪手槍 45%、邊緣底火步槍 22%、中央底火步槍 33%、散彈槍 44%。

槍擊案件之重要微物跡證來源包括彈孔、槍傷、跳彈痕、彈頭、槍枝和涉嫌人，其中生物性的微物跡證將於下一節闡述。彈頭射出槍管後，可攜帶射擊殘跡，並於跳彈或擊中被射物時，將射擊殘跡和彈頭成分轉移到被撞擊面，同時也可將被撞擊面之物質轉移至彈頭表面，並於下次撞擊時再度轉移²¹。因此，微物跡證在槍擊事件重建扮演重要的角色，可連結與槍擊事件有關的人、事、物。有時彈頭鼻部的微物跡證具有層次特性，越外層者，在外彈道上屬彈頭較晚擊中之被射物，可根據其層次研判彈頭擊中被射物之順序，明確建立外彈道。例如：在汽車駕駛遭槍擊致死案之死者體內採獲之變形彈頭鼻部，最外層殘留衣物纖維，其內有汽車椅背海綿，最內層有玻璃屑嵌入彈頭表面，可研判彈頭先擊穿車窗玻璃，射過椅背，再經過衣物射入身體。除前述微物外，各式子彈填塞物碎片、塗料、磁磚碎片、有機透明板碎片、混凝土、土壤和柏油等都是槍擊現場常見的微物跡證。此等微物跡證可使用實體顯微鏡觀察採樣，並進行初步辨識。採得樣品可以掃描電子顯微鏡進行高倍率放大觀察，同時以X射線能譜分析法進行非破壞性元素分析，另可以顯微紅外吸收光譜法和拉曼光譜法進行非破壞性有機成分分析。若樣品量足夠，也可使用其他分析方法進行有機成分和無機成分的破壞性微量分析。微物跡證分析結果常可研判其來源，或產生與案情有關的連結關係。

若槍枝握把含金屬組件，微量金屬可轉移至握槍之手掌，成為重要的微物跡證。其分布型態與握把金屬組件型態相關，鑑定時必須忠實呈現微量金

¹⁹ Reed, E. G., et al (1990), Analysis of gunshot residue test results in 112 suicides, J Forensic Sci, 35 (1) : 62-68.

²⁰ Stone, I. C. (1992), Characteristics of firearms and gunshot wounds as markers of suicide, Am J Forensic Med Pathol, 13 (4) : 275-280.

²¹ 尤文南, 孟憲輝 (2010), 射擊後彈頭上微物跡證之分析, 刑事科學, 68 : 13-18。

屬殘留型態，故一般使用化學試液直接噴灑到手掌，使微量金屬呈色或發出螢光，經觀察和攝影比對即可研判是否曾握持特定類型槍枝²²。

由於射擊時握槍之力和槍枝後座力甚大，可直接在手上留下明顯的槍枝握把痕跡。一文獻即報導在手掌表面直接觀察到陰文印痕或血跡印痕之案例²³，此類明顯可見之痕跡與涉案槍枝進行比對，即有助於確認握槍之手和研判自、他殺。

陸、槍擊現場生物跡證鑑識

在槍擊現場，除一般刑案可採得之生物跡證外，必須特別注意彈頭、涉案槍枝和射擊者手部生物跡證的記錄、採取和鑑定。射穿人體的彈頭或散彈粒常殘留被害人的血跡，中凹彈或變形彈頭更可能殘留皮肉或骨骼組織。此等樣品經組織細胞鑑定和 DNA 鑑定，可與特定器官和被害人產生連結，對外彈道和創傷彈道的重建及案情釐清均有助益。例如多發彈頭射過不同被害人，可經由 DNA 鑑定結果，將彈頭分別連結至特定人。又如多發彈頭射穿同一被害人之不同器官，可經由組織細胞鑑定重建體內之創傷彈道²⁴。

槍枝接觸或極近距離射擊頭部時，高壓火藥燃氣隨著彈頭進入皮下，彈頭則在顱內形成極高之液壓，在高壓火藥燃氣和高液壓之交互作用下，產生反濺之血滴和皮肉組織碎片，此等生物性跡證常分布於持握及擊發槍枝的手部、槍枝表面和槍管內部。由於反濺血滴之形成過程、產生位置和產生時間為動態變化，故血斑大小和出現距離無相關性，也不一定呈直徑極小的霧狀血斑。有國外學者對 9 具屍體的右太陽穴，使用 9×19mm 手槍和子彈進行試射，射擊距離為 0 到 10 公分，在撞擊點下方 60 公分水平放置一張白紙，記錄反濺血跡的型態²⁵。結果發現直徑小於 0.5mm 之微血斑數量最多，可小至目視無法辨別，形狀為圓或略橢圓。微血斑之分布最遠達 69 公分，絕大部分在 40 公分以內。直徑大於 0.5mm 之血斑，90% 以上小於 4mm，具各種

²² Avissar, Y. Y., et al (2005), Identification of firearms handling by the [Fe (PDT)₃]²⁺ complex: Chemical and time-dependent factors, *Talanta*, 65 : 328-333.

²³ Poulos, C. K., Peterson, B. L. (2012), Two cases of firearm grip impressions on the hands of suicide victims, *Am J Forensic Med Pathol*, 33 : 61-63.

²⁴ Di Maio, V. J. M. (1999), *Gunshot wounds: Practical aspects of firearms, ballistics, and forensic techniques*, USA, CRC Press, pp45-46.

²⁵ Karger, B., et al (1997), Backspatter from experimental close-range shots to the head: II Microbackspatter and the morphology of bloodstains, *Int J Legal Med*, 110 : 27-30.

形狀，大部分為長形且具方向性，但其軸線方向可能偏離血源位置。由於血斑易遭破壞，處理近距離射擊頭部之案件，應運用照明設備和放大工具，優先在射擊者手部和槍枝內外表面搜尋反濺血斑。

另有研究人員針對大量持槍自殺的案例進行研究²⁶，在 653 個使用轉輪手槍自殺的案例中，有 349 件在槍管內觀察到反濺血斑，485 件在槍管外發現反濺血斑，槍枝上完全觀察不到血斑者僅 158 件，佔 24%。在 242 個使用半自動手槍自殺的案例中，有 137 件在槍管內觀察到反濺血斑，184 件在槍管外發現反濺血斑，槍枝上完全觀察不到血斑者僅 56 件，佔 23%。結果顯示使用各類型手槍自殺者，在槍管內或/和槍管外發現反濺血斑的可能性極高。由於較大之血斑常呈現狹長之形狀，且具方向性，且射擊時遭遮蔽部位即無法沈積血斑，因此觀察分析留在手上血斑之位置和方向性，可重建握槍射擊之姿勢，對釐清案情極有幫助。美國一篇案例報導中²⁷，敘述了 5 個利用手上反濺血斑研判握槍姿勢和射擊方向的案例，並附有清晰的血斑照片和重建圖示，具高度參考價值。

前述槍枝和手部的血斑除可經由型態觀察進行槍擊事件重建之外，更可進行 DNA 鑑定，使槍枝和死者產生關連。在一件高爭議性的槍擊致死案件中²⁸，鑑識人員在系爭步槍的槍管防火帽內部和外部都觀察並記錄到典型的槍擊反濺血跡，血跡樣品進行 DNA 鑑定結果也與死者留在彈殼上的血跡 DNA 相符，研判出自同一人，此一具體明確的鑑定結果也是法官審判時形成心證的重要依據。此外前述之高雄監獄挾持人質案件中，鑑識人員在嫌犯用來自殺的手槍槍管內也都觀察到反濺血斑，經由 DNA 鑑定結果，也都能一一對應到個別的死者，對案情的釐清和事件的重建發揮了關鍵性的作用。

柒、彈道重建

常有媒體或科普書籍將槍彈物證之鑑定領域稱為「刑事彈道學」(forensic ballistics)，並將射擊後彈頭和彈殼痕跡之比對鑑定稱為「彈道比對」。事實上「彈道學」(ballistics)和傳統的彈頭彈殼痕跡比對之相關性並不高

²⁶ Stone, I. C. (1992), Characteristics of firearms and gunshot wounds as markers of suicide, *Am J Forensic Med Pathol*, 13 (4) : 275-280.

²⁷ Yen, K., et al (2003), Blood-spatter patterns: Hands hold clues for the forensic reconstruction of the sequence of events, *Am J Forensic Med Pathol*, 24 : 132-140.

²⁸ 臺灣高等法院 102 年度上國字第 12 號民事判決。

，但從事槍彈殺傷力鑑定和鑑擊現場重建時，需具備彈道學的基本知識，才能完整解釋鑑定結果，有效重建槍擊事件。從槍枝擊發過程的時程進行區隔，彈道學可依序分成五個領域²⁹，分別為：(一) 內彈道學 (interior ballistics)，涵蓋之範圍自擊發底火起至彈頭離開槍口止，探討槍枝、拋射體及發射火藥間之互動過程，及產生之各種物理及化學現象；研究重點有拋射體、點火裝置、點火序列、發射火藥及其燃燒反應、膛壓曲線和槍管壽命等。(二) 中間彈道學 (intermediate ballistics)，研究範圍涵蓋拋射體剛出槍口時，尚未脫離火藥燃氣後效作用範圍之各種理化現象。其課題包括彈頭晃動、槍枝跳動、彈托脫落、火藥燃氣後效作用、槍口焰光、槍口爆音、後座現象和槍口裝置等。(三) 外彈道學 (exterior ballistics)，研究拋射體射出槍口脫離火藥燃氣後效作用後，到擊中目標前的軌跡和動態；主要課題包括拋射體動能、空氣阻力、拋射體材質結構與形狀、拋射體穩定方式、偏流現象和氣象條件等，在應用上須能預測拋射體飛行軌跡、飛行時間、射速變化和擊中位置。(四) 終端彈道學 (terminal ballistics)，研究拋射體擊中目標後產生之各種破壞效應和現象。研究重點包括侵徹和穿甲機制、靶體背面效應、應力波效應、爆炸效應、碎片分布型態、聚能效應和燒夷效應等。(五) 創傷彈道學 (wound ballistics)，是終端彈道學的一個分支，研究拋射體擊中人體時產生之創傷效應，主要的課題包括撞擊動能、彈丸形狀與變形、暫時射創洞、永久射創管、射創特徵和彈丸制止力等。前述諸領域以終端彈道學及創傷彈道學和槍彈鑑識的關係最密切，本文擇要闡述如下。

一、外彈道重建

雖然外彈道重建也是槍擊事件重建之重點，但短距離的外彈道重建並未應用外彈道學的知識和技術。影響輕型槍枝射出彈頭外彈道軌跡之主要因素是空氣阻力和重力，空氣阻力使射速逐漸降低，重力則使彈頭逐漸降落，因此彈頭的外彈道是上升段較平直、下降段較彎曲的不對稱曲線，而非對稱的拋物線。因此，在短距離內可將彈頭外彈道視為直線，只要找出與彈頭互動的兩個點，將兩點連成一直線，即可概略重建外彈道。

以槍口射速 300 公尺/秒的 9mm 口徑手槍彈頭為例，假設射速未下降，在射距 10 公尺處，彈頭受重力而下降之高度可依公式 (4) 計算得，約 0.54

²⁹ Carlucci D. E., Jacobson S. S. (2014), *Ballistics: Theory and design of guns and ammunition*, 2nd Ed., USA CRC Press, pp.3-5.

公分，亦即將外彈道視為直線進行重建，其誤差約 0.54 公分，小於彈頭直徑，故可忽略。射擊距離 30 公尺時，其誤差至少 4.9 公分，尚可勉強忽略。射擊距離達 50 公尺，則其誤差超過 13.6 公分，已達難以忽略之程度。

$$D = gt^2/2 \quad (4)$$

其中 t 、 D 、 g 分別為彈頭飛行一段距離所需時間、下降高度、重力加速度，其中 t 為射擊距離除以射速， g 之值為 9.8 公尺/秒²。

被射物彈孔、彈頭撞擊點、中間被射物彈孔和跳彈點都可作為外彈道的彈道重建點，射擊自動拋殼槍枝時拋出彈殼的位置或監視影像中射擊者的位置，也可用為決定外彈道起點的參考位置。將兩彈道重建點連成直線彈道之工具有雷射、彈道桿和彈道繩。最重要的是應對彈道重建點建立座標系統，量測並記錄每個重建點的縱座標、橫座標和高度座標，對重建完成之直線彈道則應量測其垂直角 (vertical angle, 彈道與水平面之夾角) 和方位角 (azimuth angle, 彈道在水平座標系統上與 X 軸之夾角)，垂直角可配合水平儀，使用攝影法、量角器法或三角測量法測得。具備直線彈道上任一點的完整座標和直線彈道的垂直角和方位角等數據，即可容易地在現場重建彈道或在現場重建軟體中繪出彈頭的彈道³⁰。

重建外彈道時應注意的是，彈頭貫穿中間被射物或跳彈時會產生彈道偏折，故根據中間被射物之彈孔和最終撞擊點所建立之彈道，在研判射擊角度、射擊距離和射擊者位置時應估計其可能之變異範圍，而非僅提供單一的數據，以免發生錯誤。重建行駛中遭槍擊車輛之彈道，較重建建築物遭槍擊之彈道困難。車輛多變的外形和複雜的材料，不僅在彈孔、撞擊點和跳彈點的辨識上增加困難，也讓射擊方向、角度和順序的研判更不容易。車輛不論在行駛中遭槍擊，或遭槍擊後繼續行駛，都會改變彈孔的終端彈道特徵，進行重建時必須特別注意。此外路面的凹凸、傾斜或彎曲，駕駛和乘客的動態位置和姿勢也都會影響重建結果。再者，在判定撞擊點、跳彈點、彈孔、射擊方向和射擊距離時，須以前述之微物跡證鑑定結果為基礎，必要時更須參考下述之終端彈道特徵，才能獲致正確的彈道重建結果。

若射擊距離超出直線彈道之範圍，即須使用真正的彈道軟體進行曲線彈道重建，不宜勉強以直線彈道進行重建，以確保重建結果之正確可信。曲線彈道重建之內容超出一般槍彈鑑識範圍，本文不詳述。

³⁰ Hagg, L. C. (2006), Shooting incident reconstruction, USA Academic Press, pp.147-166.

二、終端彈道

終端彈道是研發武器的最終目的，早已是軍事武器領域的核心議題^{31,32}，但直到晚近才在鑑識領域受到重視³³。彈頭擊中標靶後，造成標靶破壞的機制分成兩大類，一為彈頭的擠壓穿入，另一則為應力波的破壞作用。彈頭擊中物體後，可在物體內形成壓縮應力波，由撞擊點向前傳遞並向四周擴散，壓縮應力波傳抵靶體背面之自由邊界後形成反射波，反射波與入射波重疊，形成拉張應力波，不論壓應力或張應力都可對靶體造成破壞。壓縮應力波和拉張應力波都屬縱波，彈頭的碰撞和擠壓也可在靶體上形成橫波，向四周擴散，一般而言橫波的破壞較不明顯，但可快速消散撞擊能量。靶體表面若有塗料層，橫波應力波可使塗料呈同心圓狀斷裂脫落，在射入口或撞擊點周圍形成一圈塗料脫落並殘留同心圓痕跡之圓形特徵。拋射體擊中標靶後之侵徹機制雖然複雜，不過影響拋射體終端彈道表現的主要因素可簡化成四個，包括撞擊速度、撞擊角度、彈頭特性和標靶特性。

決定動能彈終端彈道表現的主要因素是撞擊動能，固定質量彈頭之動能取決於射速，其他因素不變時，撞擊速度愈高則彈頭對目標的侵徹深度愈大。制式輕型槍枝射出彈頭速度較慢者低於 300 公尺/秒，高者達 1000 公尺/秒以上。由於彈頭速度是決定終端彈道的重要因素，許多測試抗彈材料和裝備的標準規範，也把拋射體之撞擊速度列為區分抗彈等級的重要變數。

拋射體撞擊標靶的角度對終端彈道表現也有關鍵性影響，通常從法線方向垂直撞擊標靶之侵徹力最高，撞擊方向與法線的夾角愈大，侵徹力愈低。彈頭撞擊呈平面狀的固態標靶或液面，當夾角超過一臨界角後，即可形成跳彈，彈頭離開標靶而不穿入。跳彈不但改變射擊方向和射速，自旋穩定也可能隨之喪失，彈頭軌跡與標靶平面所形成之撞擊角與起飛角多不相等，跳彈時若標靶表面材料不屈服，起飛角小於撞擊角，反之則起飛角大於撞擊角。

彈頭的撞擊角度不僅取決於彈道軌跡和標靶表面的夾角，還受彈頭穩定度和標靶表面平整度的影響。彈頭在晃動角或翻滾角較大之階段擊中目標時，撞擊角度較大，侵徹力較低。若目標表面凹凸不平，標靶表面在撞擊點的法線方向和整體表面之法線方向不同，真正的撞擊角度也與概觀角度不同。

³¹ Backman, M. E., Goldsmith, W. (1978), The mechanics of penetration of projectiles into targets, *Int J Engine Sci*, 16 (1) : 1-99.

³² The Chief of the Defence Staff (1992), *Ballistics and ammunition, Field Artillery*, Vol. 6, DND Canada.

³³ 孟憲輝 (2002)，終端彈道學及其在現場偵查上之應用，*刑事科學*，54：69-83。

拋射體特性是決定終端彈道破壞機制的重要因素，其基本特性差異是動能彈和化學能彈的不同，涉及刑事案件的子彈多為動能彈。動能彈的彈頭形狀和材質是影響終端彈道的主要特性。彈鼻尖銳之彈頭侵徹力較佳，侵徹目標時呈現穿孔作用。彈鼻平坦或圓鈍之頭彈頭，侵徹力居中，侵徹較薄之標靶時呈現沖塞作用。易變形彈頭侵徹目標時，彈頭變形導致其直徑和表面積增大，受到極大阻力，侵徹力最小。彈頭材質較硬者，如鋼核穿甲彈頭，侵徹力較佳，軟質之鉛核普通彈頭侵徹力較差。彈頭結構也可影響侵徹力，例如半金屬包衣之軟尖彈，撞擊目標後易變形成蘑菇狀，侵徹力較低。化學能彈包括：彈頭裝有炸藥，利用爆炸衝擊波和碎片產生殺傷效果的高爆彈，曾有司法警察機關查獲屬高爆彈之 40mm 榴彈，委託筆者進行殺傷力鑑定，代表性照片如圖 9。另有利用聚能裝藥產生高速射流，以利穿透裝甲的化學能彈，也有內裝燒夷劑、曳光劑、化學戰劑、催淚劑的化學能彈，此等彈頭在鑑識實務上幾乎不可能出現。



圖 9 司法警察機關查獲之 40mm 榴彈是一種高爆彈

標靶之強度、硬度、密度和厚度可影響拋射體之終端彈道表現，根據終端彈道表現特性可將標靶材料分成三類：(一) 低阻抗材料，如土壤和砂子。一般呈顆粒狀，組成變異大，內含各種異質物，需具相當厚度才能阻擋彈頭。(二) 中阻抗材料，如混凝土和低強度合金，材質較均勻，為同向性或異向性的連續物，中等厚度可阻抗彈頭之貫穿。(三) 高阻抗材料，如高強度金屬、陶瓷和抗彈纖維。材質均勻，材料性質穩定，各種強度特性之再現性高，較薄之厚度即可阻擋彈頭，多用於製造抗彈裝備。

彈頭撞擊速度低時，標靶只產生彈性變形，當撞擊速度提高時，靶產生塑性變形，彈頭動能超過標靶的塑性極限時，靶體瓦解，彈頭穿入，甚至貫穿。鼓脹效應和盤狀效應是低動能彈頭在薄靶上常發生的非穿入性終端彈道破壞現象，鼓脹效應發生於接觸區，形狀與彈鼻相符，彈頭繼續推擠，產生撞擊點最深的圓盤狀凹陷變形，稱為盤狀效應。盤狀效應可擴及相當大的區域，彈頭反彈或嵌入，多發生於低動能彈。隨標靶厚度增加，非穿入性終端彈道破壞逐漸變成彈坑效應，影響範圍變小，彈頭反彈或嵌入。

彈頭擊中低強度、低密度之硬脆薄靶時，如玻璃、磁磚和硬塑膠板，彈頭撞擊產生之應力波若超過材料的壓力強度或張力強度，可產生各種斷裂破壞。其斷裂類型有圓錐形斷裂、軸向斷裂、徑向斷裂和二次斷裂，造成彈孔射入口小、射出口大、同心圓紋痕、輻射狀裂痕和正切裂痕等特徵，可用來研判射擊方向和射擊順序。應特別注意的是，圓錐形斷裂上的同心圓紋痕係由應力波造成的應力痕，和彈頭的自轉運動完全無關，因此不具來復線槍枝射出拋射體在玻璃上形成之彈孔，其射入口周圍也可以觀察到同心圓紋痕，如圖 10 所示。其中圓錐形斷裂係應力波產生之破壞，若彈頭於形成圓錐形彈孔後動能完全喪失，即無法射穿靶體，可造成彈頭掉落在射入口端之結果。

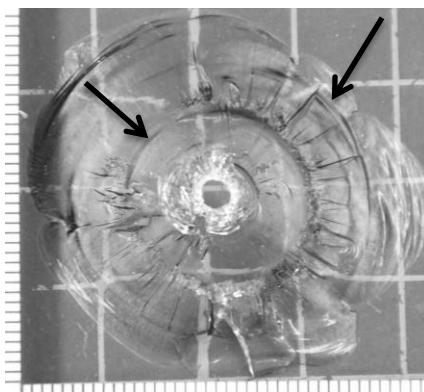


圖 10 以無來復線空氣槍及鋼珠射擊玻璃所形成彈孔周圍也有同心圓紋痕

平頭或圓鈍彈頭擊中硬度較高之金屬標靶時，容易產生沖塞破壞。彈頭剛侵入標靶時，在彈頭邊緣環形區域的標靶上形成剪切作用，彈頭的推擠在標靶背面相對於彈頭邊緣的環形區域形成張力，造成目標材料背面的環狀斷裂，彈頭繼續侵入，正面與背面的環形斷裂相接，於是形成沖塞片脫離目標而射出。鋼珠射擊鋁板形成沖塞破壞，但沖塞片未脫落之情形如圖 11 所示。

尖形彈頭擊中延性高的較厚金屬靶，彈頭侵入目標後，彈頭前方之靶體材料受到推擠沿彈頭側面向彈頭底部流動翻出彈孔外，在射入口周圍突起並外翻成花瓣狀，稱為正面瓣狀破壞。觀察其外翻狀態，直覺上容易將射入口誤判為射出口，造成射擊方向重建錯誤之結果。

薄金屬靶遭尖頂彈頭擊中，金屬標靶背面受彈頭壓力突起，彈尖先在撞擊點上形成穿孔，彈頭從穿孔推擠穿過標靶時，標靶背面之張應力由中心呈輻射狀向外釋放，造成星狀破裂，裂開的扇狀體被通過的彈頭推出，形成背面瓣狀破壞。低速圓頂彈頭擊中薄金屬靶時，沖塞破壞與背面瓣狀共同作用，圓鈍彈鼻部形成直徑較彈頭直徑小的沖塞片，邊緣則形成背面瓣狀破壞。尖頂彈頭射穿鋁板形成之背面瓣狀破壞如圖 12 所示。

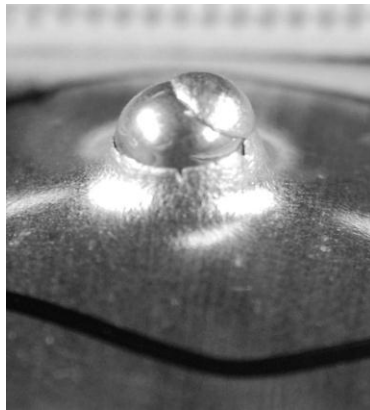


圖 11 鋼珠射擊鋁板，形成之沖塞片未脫落之情形。

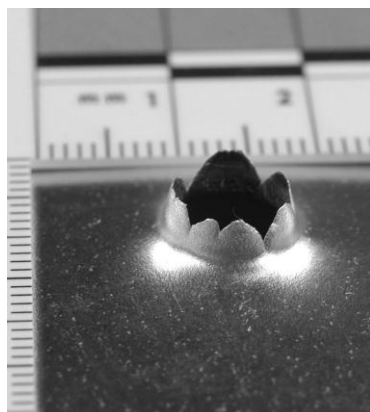


圖 12 尖頂彈頭射穿鋁板形成的背面瓣狀特徵。

此外，尚有其他終端彈道破壞機制，如結痂、崩落、延性穿孔等，分別在不同材質的射入口和射出口顯現終端彈道特徵，均可供重建槍擊事件之參

考。彈頭在撞擊平面產生跳彈時，若留下跳彈痕跡，則其水母狀痕跡之圓頂和撞擊點痕可供研判跳彈起點和方向，拖尾位置和來復線印痕指向則可協助研判射擊槍枝來復線之旋向。若在烤漆金屬板上跳彈，在撞擊面或撞擊點背面，因應力波造成之烤漆破裂型態，亦有助於研判射擊方向，跳彈彈頭之變形情形則有助於研判跳彈入射角。

三、創傷彈道

根據我國的法定偵查程序，槍傷鑑定由法醫負責。不過鑑識人員負有刑案現場各類跡證記錄和現場重建之責，雖不得進行槍傷的解剖、採證和鑑定，但仍須從槍傷外觀型態研判射擊距離、射擊方向、射擊角度、射擊順序、涉案槍彈類型和命案性質等資訊，故須具有創傷彈道學的基本知識和應用能力。

形成槍傷的主要機制有^{34,35}：（一）各種拋射體之擠壓穿入，首先造成皮膚破裂，形成碎片反濺或進入射創管，拋射體穿入身體後，肌肉遭推擠斷裂破壞，形成射創管。骨骼遭撞擊而斷裂破碎，碎片前進擴散形成孔洞、骨折。（二）高速拋射體在高黏滯性人體組織內，因變形或翻滾，快速喪失動能，形成之彈道波誘發大體積之暫時射創洞，同時高速震動拉扯，造成肌肉、血管和神經的破損創傷。（三）拋射體撞擊人體形成之壓縮應力波，在頭顱腔形成高液壓，導致毀滅性槍傷。在其他部位，震動拉扯軟組織，造成組織破壞受傷。（四）高壓火藥燃氣在槍口接觸人體或射擊距離極近之情況下，進入皮下，膨脹擴散造成皮膚爆裂，形成星裂狀的大射入口。高壓火藥燃氣進入頭顱腔膨脹，則形成高液壓，可與應力波共同作用，導致頭部爆裂之毀滅性槍傷。

拋射體為自旋穩定之單一彈頭時，因射擊角度之不同而形成圓形或橢圓形之槍傷射入口，邊緣有一圈擦傷圈，但高速彈頭、尖頂彈頭或彈頭擊中手掌和腳掌部位時，射入口周圍可能無擦傷圈。彈頭若因無自旋穩定，或因跳彈、穿過中間被射物而產生翻滾，則射入口可能呈狹長的彈頭側面輪廓狀，變形彈頭則可形成不規則之射入口。拋射體來自多彈頭子彈或彈頭擊中中間被射物而碎裂時，可產生多射入口之單一槍傷。拋射體為散彈粒，射擊距離

³⁴ Di Maio, V. J. M. (1999), Gunshot wounds: Practical aspects of firearms, ballistics, and forensic techniques, USA, CRC Press, pp.65-120.

³⁵ Kneubuehl, B. P., et al (2011), Wound ballistics: Basics and applications, Germany, Springer, pp.87-240.

小於約一公尺時，彈粒尚未擴散，形成單一較大之射入口；射擊距離增加，則形成一個較大傷口，周圍伴隨多數小傷口；達一定射距後，形成多數分散的小射入口；故散彈槍傷可由彈孔分布型態研判射擊距離^{36,37}。

除彈頭和彈粒等原始設計即具殺傷目的之拋射體外，射擊時子彈之其他組件在射距較近時也可能形成附屬拋射體，造成較輕微的射入口或其他槍傷特徵。如次口徑彈頭的彈托、散彈的填塞物、手槍散彈的膠囊和散彈獵鹿彈的緩衝顆粒等均屬之。其中散彈獵鳥彈的彈杯，在特定射擊距離範圍，可在射入口周圍形成十字狀擦傷，是研判射距和槍傷類型的重要特徵³⁸。另外，中間被射物形成之碎片，跳彈撞擊而起的外來二次拋射體，在一定距離內都可能造成創傷。

即使沒有拋射體，高壓火藥燃氣也可在接觸射擊和極近距離射擊時，造成致命性槍傷，此可由射擊空包彈造成傷亡之國外案例證實^{39,40}。當槍口接觸人體射擊時，火藥燃氣進入皮下，使皮膚迅速膨脹，拍打槍口裝置和槍口附近物體，可在槍傷射入口附近形成槍口印痕和其他物體之印痕⁴¹，高雄監獄挾持人質案的嫌犯頭部槍傷射入口均有槍口印痕，其中之一例如圖 13 所示。若此類槍擊發生在頭部，大量火藥燃氣可撐破皮膚，形成遠大於彈頭直徑之星裂狀射入口，如圖 14 所示，顯示槍傷射入口也可能是不規則的大傷口。

³⁶ Cakir, I., et al (2003), Shot range estimation based on pellet distribution in shots with a pump-action shotgun, *Forensic Sci Int*, 132 : 211-215.

³⁷ 孟憲輝，蔡秉璋 (2010)，散彈孔型態於射擊距離研判之應用，*刑事科學*，69：85-104。

³⁸ Dodd, M. J. (2006), *Terminal ballistics: A text and atlas of gunshot wounds, USA*, Taylor & Francis, pp.63-76.

³⁹ Rothschild, M. A., Vendura, K. (1999), Fatal neck injuries caused by blank cartridges, *Forensic Sci Int*, 101 : 151-159.

⁴⁰ Fracasso, T., et al (2009), Self-inflicted gunshot injury simulating a criminal offence, *Forensic Sci J*, 188 : e21-e22.

⁴¹ Perdekamp, M. G., et al (2008), Patterned imprint mark due to the folded shoulder stock: A possible finding in contact shots from submachine guns, *Forensic Sci J*, 178 : e1-e5.

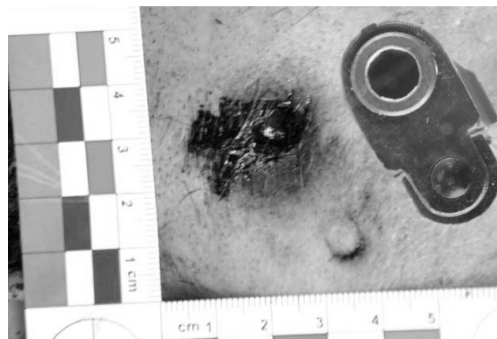


圖 13 接觸性槍傷射入口之槍口印痕與槍口型態特徵比對相符之情形

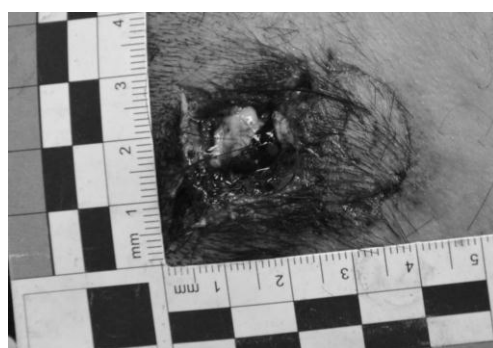


圖 14 9mm 口徑手槍接觸頭部射擊形成之星裂狀槍傷射入口

若使用中央底火步槍和散彈槍接觸頭部射擊，則高動能彈丸在顱內形成之高液壓，加上大量的火藥燃氣進入顱內，可能造成頭顱爆裂。但與一般觀念不同的是，此種嚴重槍傷並非必然發生，其發生率取決於拋射體動能和火藥燃氣體積。有一案例研究結果顯示，當拋射體動能大於 2700 呎磅（3660.7 焦耳）時，接觸性槍傷導致頭部爆裂的機率達 100%，小於此動能時則僅 55%⁴²。

近距離射擊時，燃燒不完全之火藥顆粒可在射入口附近之皮膚造成點狀或略長之擦傷型態，稱為火藥刺青痕，可供研判射距，但此痕跡可因毛髮或衣物之遮蔽而不產生。殘留碳微粒、無機底火殘跡和鉛彈頭微粒也可在近距離槍傷射入口周圍形成煙燻痕，其型態常與槍口裝置相關，可供研判射距和槍枝特徵。

槍傷射出口可能為圓形、狹長形、月牙形、星裂狀或不規則形，尺寸可

⁴² Harruff R. C., et al (2013), Relation of kinetic energy to contact wounds, J Forensic Sci, 58 : 69-72.

能大於射入口，也可能比較小，但除非射出口皮膚緊密接觸硬底墊物，否則其邊緣無擦傷圈，據此可與射入口區別。

槍傷之嚴重程度和特徵受(1)自彈頭轉移至人體動能之多寡、(2)彈頭撞擊人體之角度、(3)彈頭特性、(4)遭擊中器官和組織之特性等因素之影響，其變異極大，須有豐富的武器和彈道學知識，才不致人云亦云，或憑直覺做出錯誤研判。此外，溝渠性擦傷、皮下穿透傷、再射入槍傷、骨骼槍傷、體內跳彈、彈丸栓塞、空氣槍傷、打釘槍傷、土改造槍彈槍傷、低致命性槍彈槍傷、防彈衣槍傷、槍傷彈道重建等也都是創傷彈道的鑑定領域，主要由法醫負責，本文不詳述。

捌、小結

槍擊事件常是震撼社會的重大刑案或爭議性高的新聞事件，許多媒體和名嘴喜愛藉此炒作，以吸引民眾注意，提高閱聽率或獲取知名度。但常因缺乏紮實的鑑識知識和經驗，僅憑直覺或捕風捉影，妄下斷語，造成執法和司法上的困擾。負責偵查和審判的專業人員應委託適當的鑑識機關和鑑定專家，協助進行相關物證的鑑定和槍擊事件的重建，以維持執法和司法的可信和公正。