

以步槍射擊低空無人機-探討最佳彈道學理

作者/郭晉愷少校



陸軍官校正 99 年班，步訓部正規班 356 期、美國步兵軍官高級班 17-2 期，曾任排長、副連長、連長、中隊長。著有軍事內部專業書籍《狙擊彈道學》一書。現任職於陸軍步兵訓練指揮部狙擊組主任教官。

提要

- 一、無人機的廣泛和創新運用，對地面部隊所帶來的威脅，已顛覆傳統戰爭型態之認知，使得各國積極研究無人機在戰場上各種可能戰術運用的同時，也不得不積極尋求各種可行的反制手段。惟各種反制的武器、裝備都有優、缺點與截然不同的能力差異和限制，迄今尚無「萬靈丹」可應付所有可能的威脅，故絕不得偏愛或偏廢其一。
- 二、近年來大陸民眾頻繁使用民用型無人機跨海飛入金門守備區上空實施空拍，挑釁意味濃厚。我國防部隨即頒布〈國軍無人機侵擾應處作為指導〉，同意可運用干擾槍或 7.62 公厘口徑以下輕兵器等適宜武器及彈藥，採軟、硬殺併行手段予以擊落。本文即是思考若單兵在戰場上無干擾槍使用時，應具備什麼樣的射擊認知與能力？試圖以多年從事狙擊彈道學理研究與彈道驗證實務經驗，探討以 5.56 公厘（小口徑）步槍反制低空小型無人機之可行性與最佳彈道學理。
- 三、本研究建議將 5.56 公厘（小口徑）半自動步槍搭配「特殊彈道」，作為有限度射擊低空小型無人機的一個反制手段，雖因為國內實彈射擊靶場對空射擊有較嚴格之限制，未能以實彈進行驗證，但受益國內目前彈道計算機與應用技術已趨成熟，故仍具有相當高的參考價值，期藉拋磚引玉，將「可行方案」推廣到部隊參考，使未來每位單兵在面對無人機威脅時，即便當下沒有反制裝備，仍保有一個可能擊落無人機並即時停損傷害的應變手段。

關鍵詞：無人機、彈道、T112 步槍、烏俄戰爭

壹、前言

部長顧立雄在 113 年 9 月 19 日宣布：「2025 年全面推動近戰格鬥，T112 步槍配賦瞄準具，預定 114 年至 117 年撥發部隊 8 萬餘枝」，此一公開說明，陸軍基本戰力將大幅精進。¹回顧近年來兩岸間軍事狀況緊繃時，大陸地區有心人士即利用民族主義高漲之時，乘機使用民用型無人機，跨海飛入金門烈嶼、大膽島、二膽島、獅嶼等上空囂張挑釁，衛哨兵在威脅判斷上因裝備與經驗之不足，僅能以石頭丟擲無人機的畫面，再由新聞媒體剪輯公開傳播，引發群眾訕笑國軍衛哨兵以原始人舉動處理無人機，此一默許大陸民眾擅自替解放軍解套強出頭跨越法律紅線之行徑，導致國際與國內輿論除給予譴責外，並出現國軍對大陸無人機處置作法與能力的質疑。國防部雖立即撥發無人機干擾槍給前線部隊使用，並頒發〈國軍無人機侵擾應處作為指導〉：「可運用干擾槍或 7.62 公厘口徑以下輕兵器等適宜武器及彈藥，採軟、硬殺併行手段予以擊落。」但是在沒有專業射擊技術指導的前題下，實彈射擊易淪為無效射擊。作者便是在此背景下，產生以三軍通用武器「步槍」（含 T91、T112 步槍）探索射擊無人機彈道學理之興趣。研究成果除提供有興趣讀者作為彈道研究參考外，更希望協助地面部隊於戰場上，²可靈活應用並做為反制無人機的應急重要手段之一。

貳、適用射擊對象與接戰距離分析

一般低空飛行器、無人機，為避免與直升機之空域衝突，飛航高度大多設限在 400 公尺以下，且通常有經驗的操作手為避開高樓建築（經查詢台灣大樓資料中心 2024 年統計數據，全台樓高超過 100 公尺的大樓多達 630 餘棟，超過 200 公尺則僅有 10 棟），以及考量國內常見鳥類飛行高度約落在 400-1000 公尺間，為確保飛航安全，一般多選擇於 200-400 公尺高度間飛行。在如此高的空域，欲以傳統直射武器對這麼小的動態目標實施射擊，顯然是力不從心且徒勞無功的，況且科技製造出來的問題應該用科技的方法來解決，可使用導能雷射武器（DEW, Directed Energy Weapon）或射頻干擾（RFI, Radio Frequency Interference）等先進裝備應處。

然而，並非所有無人機都是在這樣高的空域飛行，觀察烏俄戰爭中地面部隊最常遭遇的無人機種類多為商規的「多軸旋翼」無人機，其憑藉著成本低廉、獲得容易、操控便利等優點，加上體積小、噪音低、發動機功率小等特性，不易遭敵雷達偵測或遭紅外線探測設備發現，³被雙方大量用來執行偵蒐敵情與攻擊等任務。尤其是運用可掛載攻

¹ 吳書緯、游凱翔，「顧立雄：2025 年全面推動近戰格鬥 T112 步槍配瞄準鏡」（中央社 2024 年 9 月 19 日台北市）
<https://www.cna.com.tw>（檢索時間 113 年 9 月 19 日）

² 對空中活動目標射擊應符合「五不打」原則，即無敵意不打、看不見不打、打不中不打、背我飛行不打、戰鬥間不妨礙我主任務不打。

³ 依據 Warren W. Choi & Olivia A. Garard 著，黃文啟譯，〈如何反制小型無人機〉一文第 56 頁所述：「商用小型無人機大多數都是採低空、慢速、體積小，以致於讓擅長偵測更大型、更快速航空器的現行雷達系統難以掌握其動態。」

擊型彈藥的無人機，幾乎完全顛覆傳統的戰爭模式，⁴對地面部隊造成極嚴重的威脅。不過這類無人機在掛載攻擊型彈藥後，因投擲的精準度不高，經常必須涉險將飛行高度設定在低於 200 公尺，以提高命中目標的機率。又若無人機之偵察目標上方有良好的隱掩蔽，也可能迫使其降低飛行高度來改變觀測視角以獲取情報。

綜上所述，無人機還是有不少低空飛行的時機，而這也剛好給了傳統直射武器一個能施展身手的機會。⁵而這類型無人機，就美國國防部對無人機分類定義來說，屬於第一類無人機，統稱「小型無人機（SUAS, Small Unmanned Aircraft System）」，也是本次研究中作者所鎖定，較適合以直射武器進行火力反制之主要射擊對象。因此，本文將聚焦在探討如何透過彈道應用來提高以直射武器射擊「200 公尺以下」低空飛行「小型無人機」之命中率。

參、適用射擊武器分析

有了上述射擊目標與 200 公尺合理的接戰距離概念後，在眾多編制直射武器中，小至手槍、衝鋒槍、散彈槍、步槍，大至各式輕、重機槍與狙擊槍，各種武器都有著截然不同的裝備性能、彈道特性及殺傷效果，應當用什麼武器來射擊無人機較為適合呢？就作者觀點而言，宜以具備「高初速、可半自動射擊、重量輕易攜帶的 5.56 公厘（小口徑）步槍」為首選。茲將主要理由說明如下：「高初速」—可縮短子彈因飛行時間對動態目標所造成的彈著偏差、「半自動」—可行快速且連續的控制射擊，以密集的火力提高命中率、「重量輕易於攜帶」—可增快部署與反制速度，並提高槍口轉向的彈性與穩定性，大幅增加追瞄的能力。

⁴ 參考《青年日報》，由李華強所譯〈小型無人機威脅增，構思反制策略（上）〉一文所述：「無人機已成為近年來衝突中不可或缺的要角，其不僅能突破傳統防空武力重重阻攔、深入敵境攻擊、掌握敵最新動態，甚或遭擊毀時，亦無我方人員損傷顧慮，可謂低成本、高效益且戰力強之戰場利器；惟考量其擴散程度與後續影響，尤以小型無人機最值關注。」

⁵ 美國陸軍退役少校約翰·斯賓塞（John Spencer），國際公認的城鎮戰、軍事戰略、戰術專家，曾於 2022 年 12 月針對烏俄戰爭發表《城市防禦者迷你手冊：保衛城市的戰略和戰術》一書，其內針對防禦者如何反制無人機議題，給出了以下的總結與建議：「防禦者通過集火和挑選適當的瞄準點，小口徑武器可以用於抵禦速度慢的飛行器（如直升機和飛機）或無人機上。另如果防禦者經過訓練，了解對飛行器和無人機的適當交戰技術…則防禦者可以使用小口徑武器擁有有效的防空能力。」



圖一 烏俄戰爭中烏克蘭士兵以步槍射擊無人機之真實影片截圖

資料來源：左圖截自 Dailymail 臉書短片〈Ukrainian soldier shoots down Russian drone with rifle near Donetsk〉；中圖截自 The Sun Youtube 頻道影片〈Ukrainian soldier shoots down Russian drone with rifle〉；右圖截自《我不做英雄：一個台灣人在烏克蘭的戰爭洗禮》一書作者陳晞臉書（檢索日期 2024 年 4 月 18 日）

此觀點可從近期烏俄戰爭的回顧中得到部分驗證，由於雙方於戰爭中大量使用無人機作為偵察與攻擊手段，因此，我們有機會看到第一線士兵以步槍反制無人機的真實畫面，並觀察到用來反制無人機的直射武器，多以配賦光學瞄準鏡的小口徑步槍為主。（如圖一）

至於為什麼不選擇其他武器？主要是因為手槍及衝鋒槍初速低、射程短、準度差，較不具備彈道低伸的優勢，所以不在探討的範圍之內。其他武器，如狙擊槍，射擊精度高，且可搭配高倍率瞄準鏡行精細瞄準不會更好嗎？如機槍，可搭配曳光彈實施多發點放射擊，以「掃深射」⁶持續追瞄目標方式射擊，直至命中不是會更好嗎？又如散彈槍，只要槍口概略指向目標射擊一發，即可用複數彈丸所形成的散佈面來涵蓋目標，行高效攔截不會更好嗎？以上方法似乎都可以更有效地擊落無人機，且乍聽之下好像都可行，但實際上我們必須額外考慮到其他因素，如狙擊槍加裝瞄準鏡後，倍率過高致觀測視界受限，不見得對動態目標實施追瞄時會有優勢。以美造 Night Force 公司 5-25x56 F1 狙擊鏡為例，以最低 5 倍率瞄準時，100 公尺視界為 5.7 公尺、最高 25 倍率瞄準時，100 公尺視界為 1.45 公尺，對近距離目標實施瞄準時，目標極容易因槍身些許晃動便離開視界範圍外。縱使可以瞄得到目標，射手也可能因高倍率，觀瞄效果過於清晰，容易產生

⁶ 依據陸軍總司令部於中華民國 89 年 3 月 1 日頒行之《輕兵器射擊教範（二）機槍、排戰鬥射擊》第 4-112 至 4-115 頁，機槍射擊操作分類可區分：定射、掃射、深射、掃深射，其中掃深射係指對斜向運動目標之射擊，每 1 次點放，須同時變更槍口之方向和高低，使被彈面前後、左右部分重疊，涵蓋全部目標。

欲等待「完美瞄準圖」的堅持，而錯失「極短暫」的射擊時機。另狙擊槍射擊後座力較大，即使射手能有穩固依托，射擊速率也很難控制在 2 秒內射擊 1 發，無法達到如同 5.56 半自動步槍以快速連續火力增大命中率的效果；機槍則因全自動射擊後座力難以控制、因槍口跳動過大進而造成射彈散佈面擴大，難以形成濃密彈束之效果，也就是說，即使有曳光彈指引射彈方向，能否命中還必須仰賴一些運氣。此外，狙擊槍與機槍重量動輒 8 公斤甚或 10 公斤以上，若因無人機移動速度過快或位置變換過大，必須立即變換姿勢或轉移射向實施大角度射擊，射手的反應速度必定受重量影響而顯得笨拙與遲緩；至於散彈槍，雖有效射程需視使用何種彈藥而定，一般概可區分鳥彈（Birdshot）、鹿彈（Buckshot）及重頭彈（Slugshot），通常一次所能發射的彈丸數越多，彈丸出槍口後失速也越快，故射程越短，且往往不及 100 公尺。⁷

在綜合考量之下，以 5.56 公厘（小口徑）半自動步槍搭配視野較大、可縮短瞄準時間並減少瞄準誤差之「低倍率瞄準鏡」或「反射式瞄準鏡」⁸，為單兵欲以直射武器擊落無人機眾多選項中之較佳武器組合。至於為何不主張直接搭配目前市面上最新的尖端科技，如 Smartshooter 公司所生產的 Smash 2000L/3000 智能瞄準鏡？（如圖二）其透過 AI 智能技術將「目標偵測、鎖定、追蹤、測距、彈道補償與擊發控制」等功能整合於一身，使單兵都有機會成為神射手，且官方數據又標榜可有效擊落 200 公尺內的小型無人機，這不正好完全符合作者所推論出的接戰距離嗎？主要理由在於，這類型瞄準鏡屬於精密光電設備，除購置與維護成本極高外，使用時易受環境因素影響與電池限制（其電量可待機 72 小時或支持 3600 次智能感控射擊），短時間內還難以全面普及成為各國軍用步槍的主要瞄準具，且射擊無人機所需的操作程序過於精細，就目前官方釋出的影片都只是有滯空、呈現靜止狀態的小型無人機（或以大小相近的飄浮氣球模擬）擊落，故作者推測其對於真實戰場上，多數以高速飛行且具攻擊能力的自殺式無人機，研判也難以一舉命中目標。

⁷ 參考陳晞所著《我不做英雄——一個台灣人在烏克蘭的戰爭洗禮》第 206 頁所述：「散彈槍成本便宜，但想要擊中無人機並不是一件容易的事，射手需要大量的練習，有玩過飛靶就會知道是多麼不容易的一件事，無人機的難度只會更高，而且散彈槍的有效射程只有 50-100 公尺，大部分有經驗的操作手很少會飛到這麼低」。

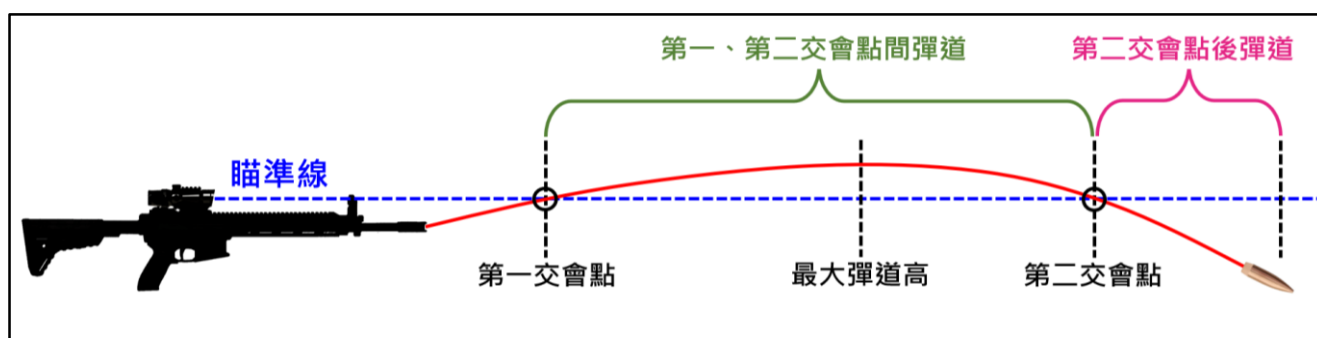
⁸ 反射式瞄準鏡：俗稱為內紅點，不同於機械瞄準具（準覬）必須以兩點連成一線方式方能構成瞄準線，內紅點僅需以一點（光點）便可實施瞄準，可大幅縮短瞄準與射擊準備時間，因瞄準迅速，故有「快瞄鏡」之名。又因其瞄準鏡內的光點明亮，射手可雙眼睜開實施瞄準，提高戰場環境感知能力與快速反應射擊速度。加上無倍率設計，視野寬廣，25 公尺距離內實施點放或全自動控制射擊，射手僅需緊盯光點確保光點在槍枝震動下不溢出目標範圍，便可有效命中，故受到各國特戰軍警單位高度青睞。



圖二 Smartshooter 公司 Smash2000L/3000 智能瞄準鏡射擊無人機功能展示
 資料來源：截圖自 SMARTSHOOTER 官方 Youtube 頻道〈SMASH to counter ground and UAS threats〉及〈C-UAS Elimination The Netherlands 2020〉兩段影片並佐以文字說明（檢索日期 2024 年 10 月 1 日）

肆、射擊無人機基本彈道學理探討

在確定適合的接戰武器之後，接著進一步探討彈道的問題。首先，我們必須先了解彈道是一條緩升驟降的拋物線，與瞄準線在不同距離時會產生不同關係。在第一交會點與第二交會點之間，彈道在瞄準線之上，如欲使彈著命中理想高度，理論上須減少瞄準鏡響數或將瞄準點瞄低。通過第二交會點後，彈道在瞄準線之下，欲使彈著命中理想高度，則須增加瞄準鏡的響數或將瞄準點瞄高，且隨著飛行距離越遠，彈道墜落幅度越大，則所需調整瞄準鏡的響數或改變瞄準點的幅度（即所需補償的角度）也就越多。（如圖三）



圖三 步槍彈道與瞄準線於各距離關係示意圖
 資料來源：作者自行調製（2024 年 5 月 17 日）

因此，以精準射擊的概念來思考射擊無人機的可行性是不切實際的，畢竟在天空中幾乎沒有任何參考點可提供射手判斷目標的正確距離，射手不太可能知道需要改變多

少瞄準點或瞄準鏡需要裝定多少響數？才能獲得正確的彈道補償量。更何況目標可能無時無刻都在移動，以目前市售無人機最大水平飛行速度可以達到每秒 25 公尺左右，⁹準確知道目標距離對射擊並無太大幫助。

其次，了解彈道學理的人，都知道射擊角度不同將對彈道產生不同影響，影響的主要原因在於，子彈飛行至目標所受到「地心引力垂直作用影響距離」會受到「俯仰角度改變」而改變。故當射擊角度越大，地心引力垂直作用影響距離將越縮短，彈道將較於水平狀態下射擊時為高，且角度射擊的距離越遠，偏高的程度越多。（如圖四）

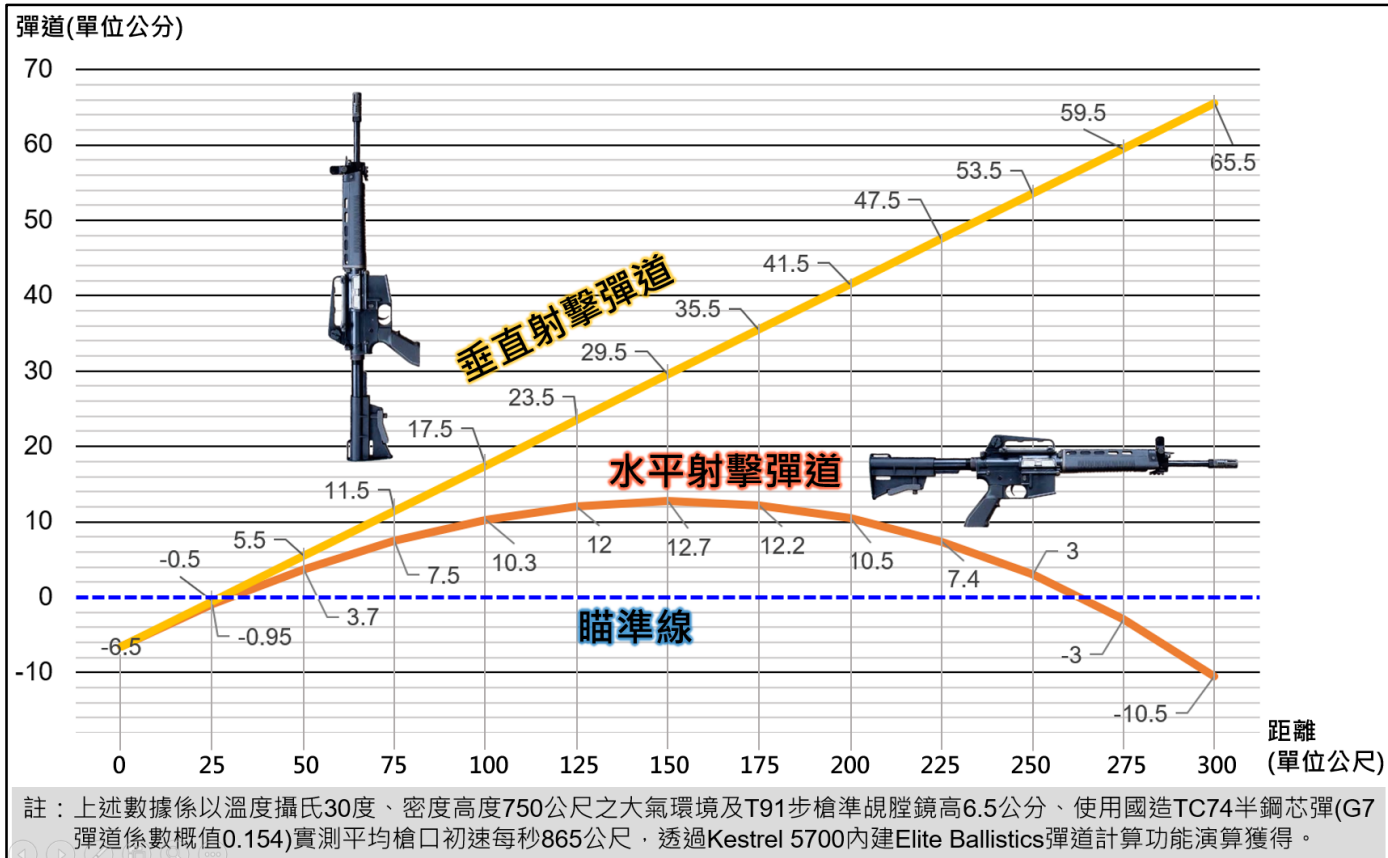


圖四 角度射擊彈道影響示意圖

資料來源：郭晉愷，《狙擊彈道學 第三版》（高雄市，陸軍步兵訓練指揮部，民國 110 年 8 月 26 日），第 32 頁。（檢索日期 2024 年 5 月 17 日）

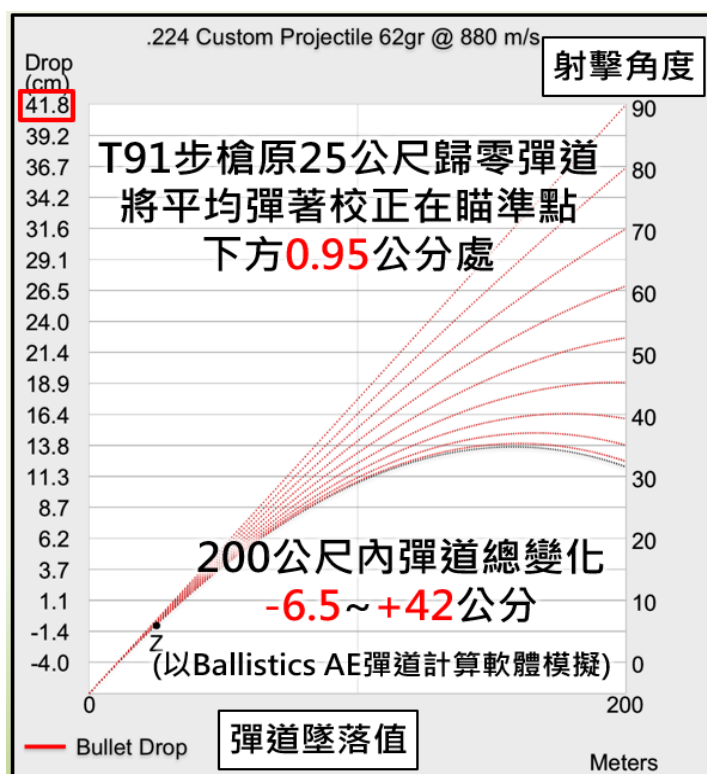
因此，在射擊無人機時，如射擊角度明顯改變，彈道將受其影響而產生變化，彈頭將不再遵循原本的彈道曲線飛行，所以彈道計算的問題將變得更為複雜。尤其是當槍口以向上 90 度方式仰射時，地心引力對彈道的影響作用幾乎是零，彈頭將筆直地沿著歸零時我們所賦予槍管的初始仰角飛出，會比水平射擊時更早通過瞄準線，所以當子彈到達無人機所在位置時，已明顯高出瞄準線太多，預期的命中率將大幅下降。（如圖五）

⁹ 以中共中央電視台報導共軍演訓畫面中，曾經出現過的民用無人機——大疆（DJI）Matrice 600 Pro 及 Matrice 300 RTK 兩機型為例，其官方技術參數顯示兩者最大水平飛行速度分別為每秒 18 公尺與 23 公尺。



圖五 水平射擊與垂直射擊彈道差異示意圖

資料來源：作者自行調製（2024 年 10 月 6 日）



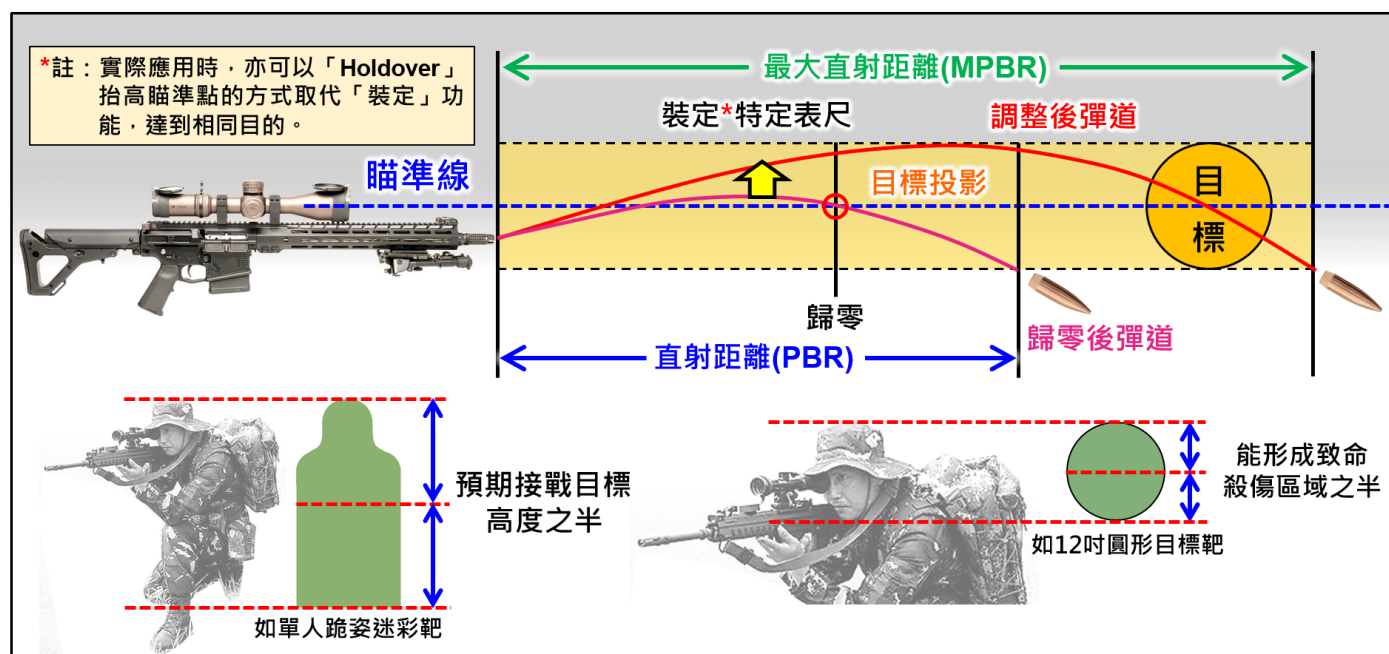
圖六 T91 步槍機械瞄準具原 25 公尺歸零彈道 200 公尺內以不同角度射擊之效果

資料來源：作者自行調製（2024 年 4 月 18 日）

以目前 T91 步槍機械瞄準具 25 公尺歸零彈道為例（將平均彈著點校正在瞄準點下方 0.95 公分處），透過 Ballistics AE 彈道計算軟體內建角度射擊計算功能演算（操作路徑：CALCULATIONS→Trajectory by Angle），我們可以看到彈道實際飛行的軌跡在 200 公尺內，將會在瞄準線下方約 6.5 公分到上方 42 公分範圍內變化（視仰角而定），顯然這樣的彈道無法有效支撐我們用來快速擊落體積較小的無人機。（如圖六）

伍、射擊無人機最佳彈道學理探討

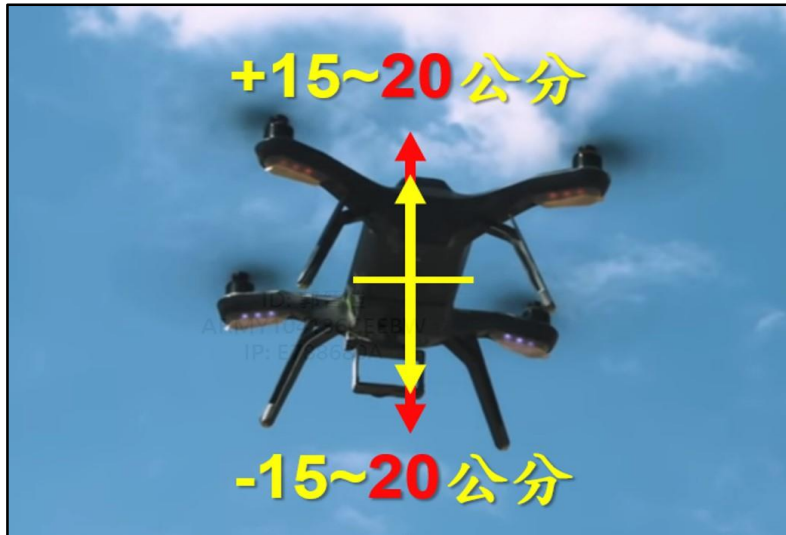
為了解決上述彈道變化與彈道補償的問題，作者建議可以應用「直射表尺」技術，（如圖七）把握 5.56 公厘步槍彈道在近距離極為低伸之特性，規劃一個特殊的表尺裝定，使彈道變化在 200 公尺預期的接戰距離內，無論以何種角度射擊，其高、低變化量均不會超過預期接戰目標高度之半，以民用型無人機常見尺寸 30-40 公分為例，則務必確保彈道既不高出瞄準線 15-20 公分，也不致低於瞄準線超過 15-20 公分。（如圖八）



圖七 直射表尺示意圖¹⁰

資料來源：作者自行調製（2024 年 9 月 15 日）

¹⁰ 所謂直射表尺（PBZ, Point Blank Zero），經作者蒐整國外相關資料，將其精神重新闡述為：「槍枝歸零完畢後，彈道變化在某射程範圍內，既不高出、也不低於瞄準線一定程度（通常不超過射手預期接戰目標高度之半或目標上能形成致命殺傷區域之半），故理論上只要目標在此射程範圍內，射手應急時可忽略彈道變化，直接瞄準目標中心射擊，快速命中形成有效殺傷或予以致命擊殺。」符合上述彈道特性的射程範圍，稱為直射距離（PBR, Point Blank Range）；裝定某特定表尺後，彈道的高低變化量，剛好能符合預期接戰目標高度之半或目標上能形成致命殺傷區域之半的最大限度，則此彈道所能涵蓋的全部射程，稱為最大直射距離（MPBR, Maximum Point Blank Range）。



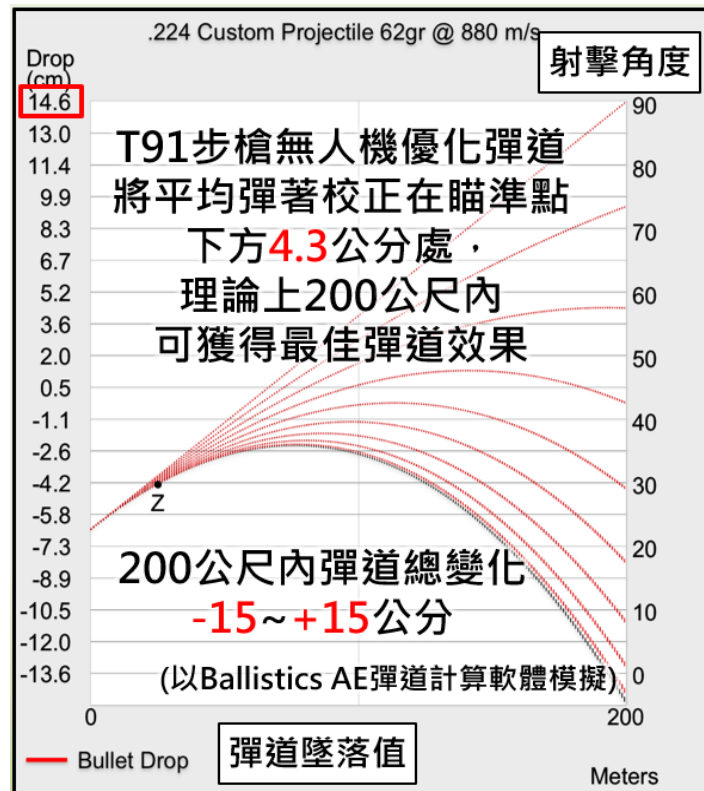
圖八 射擊無人機最佳彈道示意圖

資料來源：作者自行調製（2024 年 5 月 17 日）

有了直射表尺之應用概念，我們便可透過彈道計算機，計算出一個理論上能更有效擊中無人機的「特殊彈道」並對瞄準鏡做出適當的響數調整，使得步槍彈道在 200 公尺內，無論以任何角度射擊，都能盡可能地貼近瞄準線飛行。

以國造 T91 步槍為例，如能在 25 公尺歸零時，將平均彈著點校正在瞄準點下方「4.3 公分」（以 T91 步槍機械瞄準具或搭配 TS91B 式瞄準鏡¹¹時，膛鏡高度 6.5 公分、使用國造 TC74 半鋼芯彈射擊時，平均槍口初速每秒 880 公尺…等狀態為基準，安裝其他型式瞄準具或使用其它彈藥須另外計算），則可以將任何角度射擊的影響降到最小，200 公尺內理論上將會有最低伸的彈道特性。同樣以 Ballistics AE 彈道計算軟體內建角度射擊計算功能演算（操作路徑同前），射角在 45 度以下時，彈道與瞄準點的關係只在 -15~-1 公分間變化；射角在 45 度以上到 90 度時，彈道與瞄準點的關係也還能控制在 -6.5~+15 公分間。（如圖九）而此彈道變化數值（總變化量 -15~+15 公分），對一個大小約 30-40 公分的民用型無人機而言，射手幾乎不太需要去思考目標實際的距離為多少？應該要瞄高一點還是瞄低一點的問題，只要能確認目標概略在 200 公尺目視可及的範圍內，哪怕射手在無人機進迫的過程必須將射角從接近平射，到將槍口抬起成為仰射，又或是當無人機盤旋至陣地上空時，槍口必須直接指向頭頂上方，都可以達到幾乎不用改變瞄準點的直射效果。如果無人機飛行的更近，該特殊彈道在 100 公尺距離內的總變化量甚至只有 -6.5~+4 公分（約一個拳頭大小），幾乎可以完全省去對彈道變化的顧慮，而是將瞄準點對到目標的質量中心（Hold Center Mass）就直接開槍。在此科學數據的支撐下，必將增大射手對於命中目標的射擊信心。

¹¹ 國造 TS91B 式瞄準鏡：由軍備局第 401 廠所生產，為固定 5.2 倍率之步槍專用瞄準鏡。因 T91 步槍建案時並無配發瞄準鏡，故 TS91B 式瞄準鏡係以訓練裝備名義採購，且僅針對部分特定人員，目前絕大多數部隊未配賦是項裝備。



圖九 T91 步槍無人機優化彈道於 200 公尺內不同射角所形成之效果
資料來源：作者自行調製（2024 年 4 月 18 日）

當然，這樣的方法，絕對不是要求讀者在歸零時，校正一個對射擊無人機最有利的彈道，如此恐捨本逐末、不切實際，畢竟適合射擊無人機的彈道，是綜合考量所有射角可能產生的彈道影響後，取「水平射擊與垂直射擊」兩極端條件下，彈道變化在 200 公尺內均不會大於一個民用型無人機常見尺寸 30-40 公分之半的理論值，在步槍一般常見的射擊條件（水平射擊 300 公尺內人形目標），這樣的彈道設定顯然是不理想的（以上述作者建議的 T91 步槍射擊無人機特殊彈道為例，在正常水平狀態下射擊，100 公尺彈道將偏低約 3 公分、200 公尺將偏低約 15 公分、300 公尺將偏低約 50 公分…彈道均有偏低甚或過低的傾向）。

取而代之的是，希望讀者能以「調整瞄準鏡響數」的方式來實現無人機彈道應用，比如 T91 步槍準則要求的原始歸零彈道是將平均彈著點校正在瞄準點下方 0.95 公分處，則在歸零完畢後，以理論值的方式透過高低調整螺將彈著點下修至瞄準點下方 4.3 公分處。如槍上搭配某一型式瞄準鏡，其修正量一響為 0.5MOA，¹²且我們知道 0.5MOA 在 25 公尺處的響數修正量約為 0.36 公分，則將高低調整螺向下調整 9 響（彈著向下 9 響 X 0.36 公分 = 3.24 公分），理論上即可將平均彈著點下修至瞄準點下方 4.2 公分處，

¹² MOA (Minute of Angle)：中文譯作角分，為角度單位，1 角分相當於 1/60 度（即 0.0166 度）。以英制單位計算，該角度放射狀延伸至 100 碼所形成的夾角差（弦長）為 1.047 英吋寬，換算為公制單位，即 100 公尺所形成之夾角（弦長）為 2.91 公分寬（通常省略記為 2.9 公分）。因其角度量極小，被軍事大量用於衡量槍枝精度、測距或作為光學瞄準鏡的響數修正量單位。如敘述某槍枝具 1 角分之精度時，通常指射擊 3 發（或 5 發）彈著群，於 100 公尺處之散佈大小（最遠兩發之兩點中心連線距離）能小於 2.9 公分、2 角分則能小於 5.8 公分，以此類推。若敘述某瞄準具響數修正量一響為 0.5MOA，則修正一響理論上彈著點在 100 公尺的移動量約為 1.45 公分（2.9 公分除以 2）、25 公尺的移動量約為 0.36 公分（1.45 公分除以 4）。

得到一個相當接近射擊無人機的彈道。也就是說我們只要記住，當需要射擊無人機時，只須快速地將高低調整螺向下調整 9 響即可（惟射擊完畢後務必立即將表尺復歸為個人的戰鬥表尺）。

陸、射擊無人機彈道學理

針對 T91 步槍即將汰舊換新，作者為新型步槍性能測評人員之一，為確保該武器功能，兵監與造兵單位經常實施意見交換，以利生製單位依陸軍作戰需求研發新一代步槍，提供部隊戰鬥時使用。經廣泛蒐集部隊多年使用 T91 步槍之經驗與回饋，並與使用者充分溝通，最終在能滿足作戰需求各項性能指標的前提下，成功開發 XT112 新型步槍，經作戰測評與生產單位反覆修正下，終於評鑑合格，正式定名為 T112 式步槍。（如圖十）

為了確保新型步槍能應付現代戰爭無人機頻繁出現在戰場上的常態現象，新槍在瞄準功能上做出必要的強化，使其具備對無人機可快速瞄準的功能。在戰鬥部隊準備獲得新槍之際，準則、操作手冊及相關配套都已大致完成，作者亦將該型新槍對空射擊無人機之研究成果，與 T91 步槍之研究成果同步發表，以利部隊獲得新型步槍後，在對空射擊技術上能夠完美銜接，讓部隊射擊訓練之基本知識與技能在未獲裝備前即可具備，並能有所依據與參考。



圖十 T112 步槍全系統為基層部隊注入新戰力
資料來源：作者自行拍攝（2024 年 8 月 27 日）

一、T112 新型步槍

T112 步槍在功、性能，從精準度、可靠度、壽期、射擊後座與平衡感、人因工程舒適性與人槍介面操作便利性、再到模組化與擴充性…各方面，均已能媲美西方國家 5.56 公厘先進步槍水平。實測精度明顯優於標準數據（3.5MOA），搭配光學瞄準鏡，

600 公尺平均命中率，在風況穩定的條件下，甚至能與使用狙擊彈的 7.62 公厘半自動精準步槍相當。後座力明顯降低、槍口跳動較小，近距離兩發點放密集具戰鬥效率。顛覆傳統 T65K2/T91 步槍形式的射擊選擇鈕，射手彈指之間即能快速切換各種射擊模式，有利於射擊控制與發揚火力。其他人因工程與人槍操作介面優化：如考量左、右手射手操作需求的雙邊設計（包含拉柄、彈匣卡榫、射擊選擇鈕與槍機卡榫…等）、額外設置於機匣右側，能有利射手簡化清驗槍程序與加快雙進彈故障排除的槍機固定鈕、能幫助射手更省力、更順暢扣引扳機的曲面設計、能增快裝彈速度，特別加大的彈匣井（Magazine Well）斜口設計、能減少上下機匣間隙，提高精度的安槍穩定器…等，使參與測評的射手、專家，對生製單位研發團隊匠心獨具的設計給予肯定。為了增強 T112 步槍命中人體目標之殺傷效果與擊中抗彈板等硬質防護目標之侵徹力，不排除優先開發 5.56 公厘增強型步槍彈（如美軍 M855A1 彈藥或相同規格或具同等能力之彈藥）¹³，以肆應現代戰爭威脅。更重要的是，T112 步槍同時解決了國軍射擊訓練長期以來最為人爭議，沒有光學瞄準鏡的問題，全系統包含四倍光學瞄準鏡、反射式瞄準鏡（內紅點）與三合一雷指器，不僅能提升國軍官兵基礎戰力，同時也能提早規劃各種彈道應用作為的可能：包含如何計算全系統瞄準鏡最適用之歸零彈道、設計 TS112 近戰瞄準鏡內之彈道補償刻劃（詳細設計理念與功能參考附件）及提高射擊無人機之成效…等。

二、T112 新型步槍無人機彈道之應用

為了使國軍官兵在使用新一代 T112 步槍時，能有更適宜的無人機彈道應用，作者特地協請軍備局生產製造中心將此概念納入設計優化考量項目之一，相關具體應用作法敘述如下：

（一）就 TS112 近戰瞄準鏡而言：（其外型參考圖十與圖十一）

TS112 近戰瞄準鏡是一款「四倍」固定倍率之光學瞄準鏡，主要針對高低調整螺及鏡內刻劃兩部分加入對應之彈道應用巧思。在高低調整螺方面，作者透過計算得知在原廠設定的歸零彈道基準下，額外將高低調整螺下修 10 響後，就能產生射擊無人機的最佳彈道，因此，基於滿足使用者射擊時快速接戰需求，遂將高低調整螺順時鐘轉動 10 響的刻劃線塗上紅漆以利於識別，（如圖十二）使其具備快速調整且簡易之「防呆設定」，調整完畢後即可以十字中心圓點實施瞄準與射擊，200 公尺內無論以何種角度射擊，彈道總變化量僅介於-13~+16 公分之間，100 公尺距離內的總變化量僅介於-6.7~+4.7 公分，完全符合彈道最佳化的設定

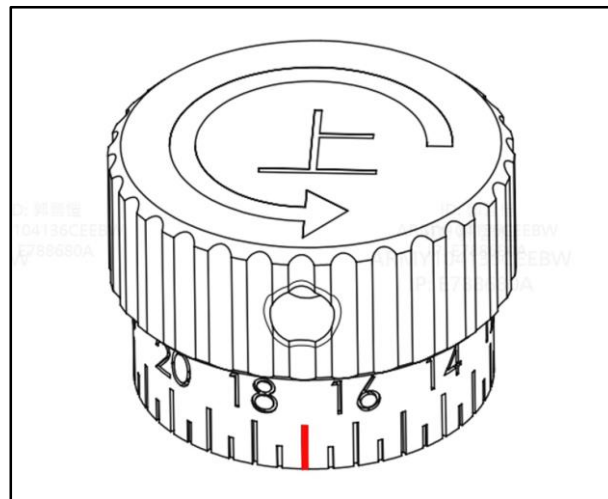
¹³ M855A1 彈藥：美國陸軍於 2010 年 6 月開始逐次將全軍使用逾 25 年的 M855 彈藥更換為 M855A1 彈藥，其彈頭重量雖維持原 62 格令（約 4 公克），然在槍口初速、動能、精度、殺傷力與侵徹力等各方面表現均較 M855 彈藥為佳。彈頭結構區分鋼芯、銅芯及彈頭殼三個部分，採彈頭殼由後向前包覆銅芯與鋼芯之特殊設計，射擊人員目標時，彈頭在命中目標瞬間即因鋼芯與銅芯互相擠壓原理，使彈頭殼產生爆裂與分離的擴大殺傷效果，從而提高對人體組織的破壞力；並透過增加鋼芯重量與刻意讓鋼芯頭外露方式來提高面對硬質目標之貫穿效果，經測試可於 350 公尺處貫穿 1 公分低碳鋼板，整體侵徹力約為 M855 彈藥的 2.1 倍。

(參考圖十六，應急手段 1 示意圖)。



圖十一 國造 T112 步槍搭配 TS112 近戰瞄準鏡示意圖

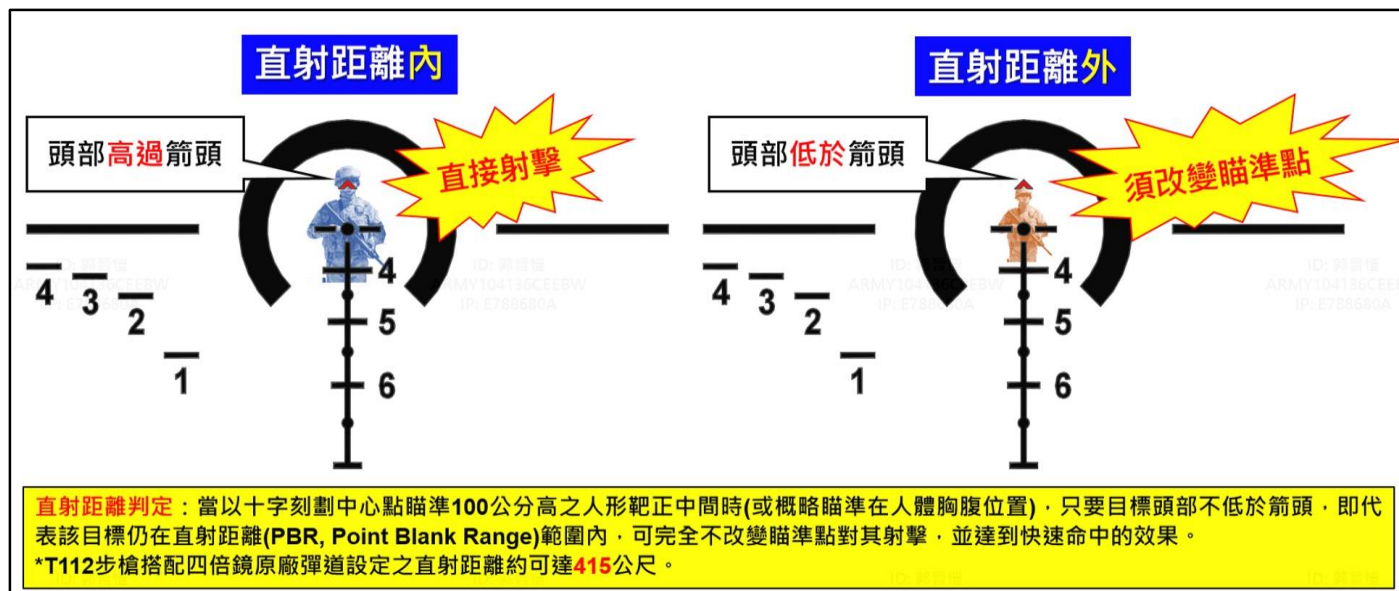
資料來源：作者自行拍攝（2024 年 8 月 27 日）



圖十二 國造 TS112 近戰瞄準鏡高低調整螺無人機射擊刻劃線示意圖

資料來源：軍備局生產製造中心第 401 廠提供（檢索日期 2024 年 6 月 6 日）

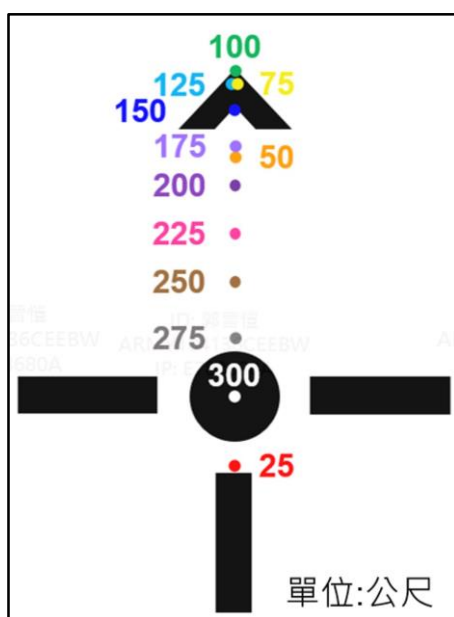
在鏡內刻劃方面，十字中心圓點上方設計有一個「倒 V 箭頭」，該箭頭具備諸多彈道應用功能，主要功能是主瞄點瞄準人形目標的胸口部位時，判定目標是否仍在 415 公尺直射距離內的一個指標。若目標頭部高過箭頭，代表目標距離在 415 公尺之內，可直接射擊、若目標頭部在箭頭之下，代表目標距離在 415 公尺之外，則必須改以適當距離之射程刻劃實施瞄準。(如圖十三)



圖十三 國造 TS112 近戰瞄準鏡直射距離判定示意圖

資料來源：作者自行調製（2024 年 9 月 11 日）

其次，該「箭頭」尖端處，同時也是新槍完成歸零後，彈道在射手從瞄準鏡看出去的視野內，飛行軌跡的最高點，(如圖十四)可作為彈道遮障射擊可行性判定的指標，如：射擊前，瞄準線上方有障礙物遮蔽部分視線（如城鎮中可能的場景，瞄準線上方出現交通號誌、廣告看板、高架橋、陸橋、涵洞、加油站頂棚、裸露的鋼構建築、遮陽（雨）棚架…等），但十字絲仍然可以正常瞄準目標，此時，如果障礙物的下緣，遠在箭頭之上，代表彈頭完全不可能擊中障礙物，射手可不加思索地進行射擊，且理論上能如期命中目標。反之，如果障礙物下緣低於箭頭，那麼子彈很可能會飛到一半就被障礙物攔阻掉，而無法順利命中目標，射手有思考彈道遮障問題的必要。(如圖十五)



圖十四 國造 T112 步槍搭配 TS112 近戰瞄準鏡，歸零後各距離彈道高示意圖

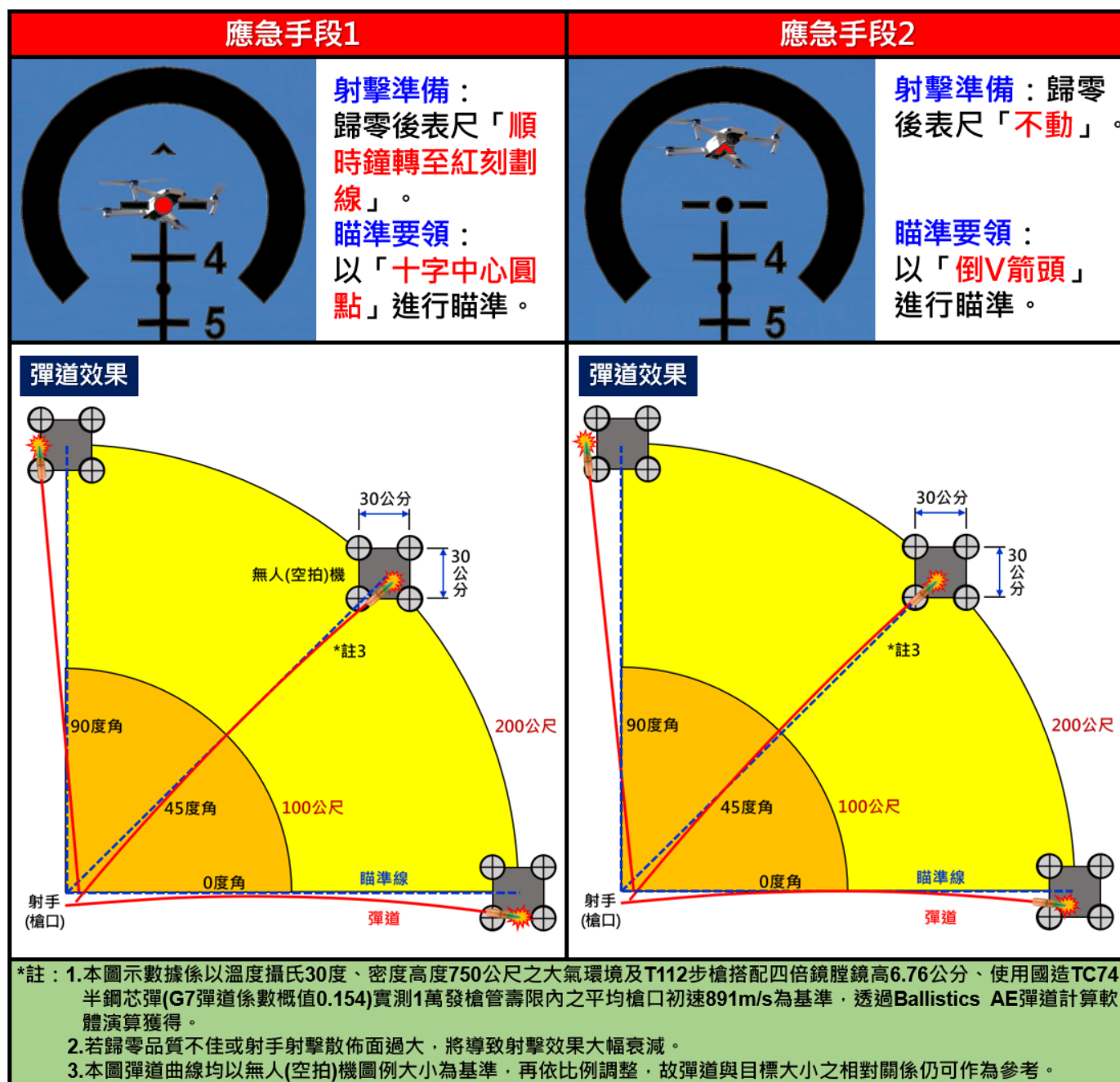
資料來源：作者自行調製（2024 年 9 月 11 日）



圖十五 國造 TS112 近戰瞄準鏡—彈道遮障射擊可行性判定示意圖

資料來源：作者自行調製（2024 年 9 月 13 日）

最後，該「箭頭」尖端處恰巧也是能產生無人機射擊彈道的輔助瞄準點，也就是說，在與無人機遭遇時，射手可以完全不用調整響數，而是直接以「箭頭」瞄準即可行快速射擊，200 公尺內無論以何種角度射擊，彈道總變化量僅介於-9~+20 公分之間，尚能符合彈道不高出或低於瞄準線 15-20 公分之要求。100 公尺距離內的總變化量僅介於-6.7~+6.7 公分，雖略比「將高低調整螺下修 10 響」的方式為多，但同樣能滿足優化彈道射擊無人機之目的。（如圖十六，應急手段 2 示意圖）



圖十六 T112 步槍搭配 TS112 近戰瞄準鏡射擊無人機彈道應用示意圖

資料來源：作者自行調製（2024 年 4 月 18 日）

如射手都未使用上述任一方法，而直接以原廠設定的歸零彈道搭配十字中心圓點進行瞄準，則 200 公尺內彈道的總變化量將多達-7~+45 公分，明顯無法滿足無人機射擊需求。故上述兩種應用手段，均可優化射擊無人機彈道，使彈道變化幅度縮小約 45%，進而提高命中機率。

（二）TS112 反射式瞄準鏡：（如圖十七）

由於反射式瞄準鏡無倍率，欲以其瞄準 200 公尺距離上，大小僅約 30-40 公分的民用型無人機難度較高，故在無人機彈道應用規劃時，作者直接以 100 公尺距離為主要考量，經作者研究目前反射式瞄準鏡原廠所預劃的歸零彈道設定，除了能滿足在有效射程內彈道變化量能最適合單兵快速接戰外，恰巧在 100 公尺內

也可形成令人滿意與最佳的無人機射擊彈道。經計算，無論以何種角度射擊，100公尺內的彈道總變化量約介於-7.4~+9.5 公分之間。

雖然再額外調整高低響數能獲得更好的彈道效果（可以使彈道總變化量再縮小約 30%），然而考量到反射式瞄準鏡的高低調整螺調整不易（必須將帽蓋旋開再以帽蓋上之凸點扣入柱螺內始可調整），硬是要追求最佳學理彈道有本末倒置之虞，且以現況所能產生之彈道足以滿足急迫接戰所需。簡單來說，只要射手未來能依原廠所提供的歸零彈道完成精確歸零，在不得已必須向無人機射擊的任何時機，射手完全不須做任何調整，直接以紅點瞄準無人機中心位置，理論上 100公尺內便可獲得良好的彈道效果，大幅提高射擊命中信心。



圖十七 國造 T112 步槍搭配 TS112 反射式瞄準鏡示意圖

資料來源：作者自行拍攝（2024 年 8 月 27 日）

柒、結語

所謂知識就是力量，很多你認為不可能的事，就是因為未能探索認知誤區或執行盲點的約制，造成一般人連突破想像的勇氣都沒有，若提到使用步槍想要擊落無人機，大部分人的直覺都會認為不可能，或者會認為運氣夠好才有機會碰得上，但在作者所設定的相關條件之下，將基本知識與彈道學理深研窮究後，用步槍擊落無人機是很有可能的。尤其是現代科技進步，彈道計算機與相關參數蒐集儀器的使用已相當普遍，目前國軍狙擊手已有足夠的手段能透過演算，獲得各種情況下彈道的飛行軌跡或射擊的預期彈著點（包含環境影響因素亦可最大程度排除），且經作者大量實彈驗證，所獲得之數值幾乎都能與實際彈道結果相符。不過，彈道計算機能否有效應用的前提，不單只是仰賴射手是否具備精湛的射擊技術而已，更重要的是，射手有沒有辦法以非常嚴謹的態度來完成槍枝的歸零與校正？否則，本文所探討的所有數據，最後將完全無法與射擊實況結合，淪為「我明知道，卻做不到」的窘境。（關於如何有效歸零，建議讀者可參考作者投稿於《步兵季刊》第 289 期〈以統計與彈道學理論探究槍械精確歸零之奧祕〉一

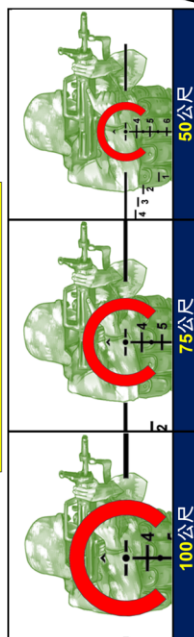
文)總結本文，作者建議將 5.56 公厘(小口徑)半自動步槍搭配「特殊彈道」，作為有限度射擊低空小型無人機的一個反制手段，雖然受到國內訓場環境限制，尚未有機會完成實彈射擊驗證，但基於作者投入彈道學理研究多年，以及在射擊實務經驗上所獲得之信心，仍決定將現階段研究成果彙整成文章，在新型步槍即將量產撥發之際，先期將相關彈道應用原理提供給官兵做射擊運用之重要參考資料。當然，最終目的還是希望儘快獲得重視與支持，並透過教育訓練、傳播等各種手段，將此項知識與技術普及到每位國軍官兵身上，使其未來於戰場上遭遇無人機威脅時，即便當下沒有任何科技裝備，能癱瘓其導航或阻斷其影像傳輸，也能以身上最容易獲得、最可靠的步槍，透過彈道靈活運用，保有一個合理可行且能有效擊落無人機，即時停損傷害的應變手段。

國造TS112式近戰瞄準鏡－彈道補償刻劃(BDC)設計概念與功能說明

資料來源：步訓部狙擊教官組郭晉愷(1131013更新)

快瞄環：以平均胸膛大小30公分於75公尺處投影寬設計(利於100公尺內近接戰鬥快速瞄準)

快瞄環100公尺內瞄準效果



300公尺瞄準效果：十字刻劃中心點為瞄準點亦為彈著點，另將快瞄環套於人形靶上緣，可確保理論彈道命中目標底緣上方40公分(利於訓練)

100公尺彈道高+12.5公分(箭頭尖端亦為100公尺歸零時預期的彈道落點)(利於訓練)

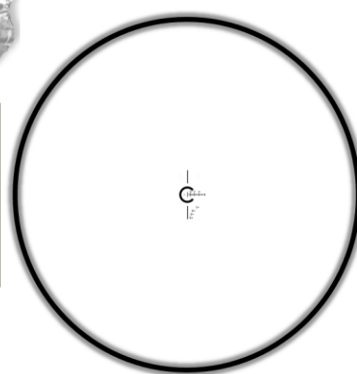
十字刻劃中心點射程裝定為300公尺，300公尺內最大彈道高位於175公尺(+17公分)

中心圓點1.2MOA，利於遠具精準射擊瞄準

水平輔助線

直射距離判定：當以十字刻劃中心點瞄準100公分高之人形靶正中間時(或人體胸膛位置)，只要目標頭部不超出箭頭尖端處，即代表該目標仍在直射距離(PBR, Point Blank Range)範圍內，可不改變瞄準點即行射擊。*此彈道設定直射距離約可達415公尺。

刻劃與視界比例



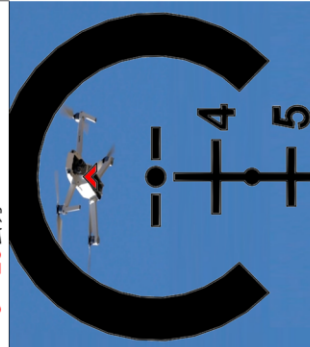
測距刻劃系統2
(以平均頭高30公分設計)
最多可測至400公尺

測距刻劃系統1
(以平均肩寬50公分設計)
最多可測至700公尺

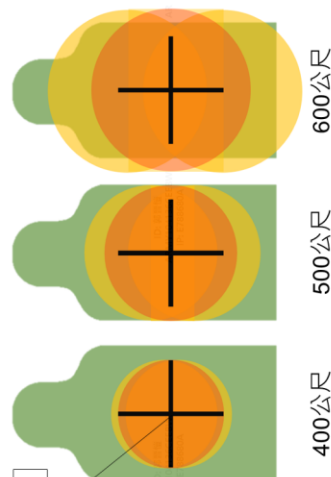
300~700公尺彈道補償刻劃
(每50公尺設有一瞄準點或一刻劃線)

無人機應急射擊刻劃與預期效果

- 100公尺內各種角度彈道變化量 -6.7~+6.7公分
- 200公尺內各種角度彈道變化量 -9~+20公分



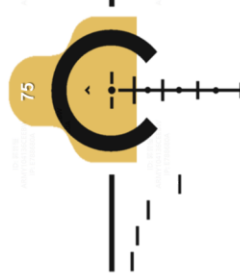
槍管壽命一萬發內彈道預期效果



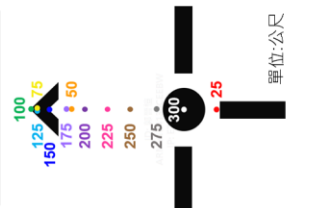
175公尺瞄準效果



75公尺瞄準效果



瞄準要領：以快瞄環上緣切齊肩線即可命中目標正中間理論彈道可命中目標底緣上方40公分處(利於訓練)



300公尺內彈道於刻劃內對應位置

參考文獻

1. 郭晉愷，《狙擊彈道學—第五版》（高雄市，陸軍步兵訓練指揮部，民國 113 年 2 月 1 日編印）。
2. Warren W. Choi & Olivia A. Garard，黃文啟（譯），〈如何反制小型無人機〉《國防譯粹》，第四十五卷第七期，國防部政務辦公室，2018 年 8 月。
3. 李華強（譯），〈小型無人機威脅增 構思反制策略（上）〉《青年日報》，2024 年 3 月 5 日，<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1656805&type=forum>。
4. 李華強（譯），〈小型無人機威脅增 構思反制策略（下）〉《青年日報》，2024 年 3 月 6 日，<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1657129&type=forum>。
5. 〈精進技術與研發反制無人機攻擊〉《青年日報》，2019 年 9 月 19 日，<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1179549>。
6. 陳晞，《我不做英雄：一個台灣人在烏克蘭的戰爭洗禮》（新北市，遠足文化事業股份有限公司燎原出版，2024 年 6 月）。
7. 鍾志東，〈中共無人機侵擾外島營區警訊不容小覷〉《國防安全雙週報》，第 62 期，2022 年 9 月 9 日，頁 2。
8. TC 3-22.10, 《Sniper》（U.S.A., Headquarters Department of the Army, 2017）
9. TC 3-22.9, 《Rifle and Carbine》（U.S.A., Headquarters Department of the Army, 2016）
10. Bryan Litz, 《Accuracy and Precision for Long Range Shooting》（U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2012）
11. Bryan Litz, 《Applied Ballistics for Long Range Shooting》（U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2015）
12. Bryan Litz, 《Modern Advancements in Long Range Shooting- Volume II》（U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2016）
13. Bryan Litz, 《Modern Advancements in Long Range Shooting- Volume III》（U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2022）