

由美國彈道學家 Bryan Litz 射彈散佈理論-論證 國軍狙擊手精準射擊能力評估與鑑定作為

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。2015 年榮獲世界盃 CQB 極限射擊大賽總冠軍，並以 1 分 18 秒 99 紀錄保持至今，著作:軍事內部書籍《狙擊彈道學》一書。現任職於陸軍步兵訓練指揮部狙擊組教官。

提 要

- 一、我國狙擊戰力發展近年來突飛猛進，已從傳統高度依賴經驗參數（固定已知目標—精打細瞄）之作法，導向成為高度講究科學彈道數據（隨機未知目標—精打細算）之作為。然而，在各單位積極發展、驗證與推動狙擊彈道學理應用的同時，鞏固狙擊手最基礎的精準射擊能力也是不可忽略的一環。否則將本末倒置，使彈道應用成效難獲立竿見影之效。惟我國狙擊戰力發展至今尚無一套完整的「射彈散佈理論」文獻，使得部分狙擊手對精準度與射彈散佈存在過時觀念，侷限了狙擊手遠距離狙擊戰力之發揮。
- 二、本文旨在引進美國彈道學家 Bryan Litz 於其著作《Modern Advancements in Long Range Shooting》一書所提出的射彈散佈理論，以此為據並考量我國野戰狙擊手實際作戰訓練需求，將其規劃成為一項能有效診斷狙擊手是否具備實戰射擊能力的評估方法與新標準。
- 三、本文所發展之狙擊手精準射擊能力評估與鑑定標準，已於民國 111 年起正式納入本部狙擊手訓練班期中、期末測驗考核項目之一，可視為培養一位合格狙擊手應具備的最低要求門檻。各單位資深狙擊手不應以此為限，亦應持續精進自身射擊能力，設法發揮「槍、鏡、彈」武器系統整合的極致，將射彈散佈大小控制在最小的可控制範圍內，則進一步追求更深奧的科學彈道應用（彈道預測與射彈修正）才能相輔相成，獲致實效。

關鍵詞：狙擊手、彈道學、射彈散佈、精度

壹、前言

科學彈道之應用，是狙擊手欲求突破遠距離精準射擊瓶頸，必先精通的重要方法。國軍狙擊戰力發展近年來可謂突飛猛進，已從傳統高度依賴經驗參數（固定已知目標—精打細瞄）之作法，導向成為高度講究科學彈道數據（隨機未知目標—精打細算）之積極作為。然而，為能提升各單位狙擊手對中、遠距離上任意目標均能達到「首發命中」的實質效果，各單位除必須持續發展、驗證與推動狙擊彈道學理並靈活善用各種先進科學儀器、裝備外（如測速儀、測距儀、測風儀、彈道計算機...等），也有必要回過頭重新檢視狙擊手目前的精準射擊能力是否能達到有效命中遠距離目標所應具備的合理要求。而目前最好的射擊評估辦法，便是在 100 公尺近距離上實施精準射擊並藉彈著群實際的散佈特性來衡量其能力優劣。惟我國狙擊戰力發展至今，尚無相關文獻與方法能對射彈散佈進行有效預測，甚有部分狙擊手尚存有：「100 公尺 3 發精度能打在 1MOA 內，理論上 800 公尺 3 發精度也可以打在 1MOA 內」的過時觀念，而不再精進本身的射擊能力與技術。此現象侷限了狙擊手遠距離狙擊戰力之發揮，為我國目前狙擊手訓練可以精進的方向之一。本文即是作者在此動機下，專研國外先進彈道學理及相關文獻並透過大量實彈驗證後，提出的一個符合我國野戰狙擊手訓練需求且具體可行的「精準射擊能力評估」辦法，供各單位狙擊手訓練參考運用。

貳、基本名詞定義

為有利讀者閱讀，茲將與本文後續探討相關名詞定義說明如下：

- 一、**準度（Precision）**：依據美國彈道學家 Bryan Litz 所著《Modern Advancements In Long Range Shooting》13 頁定義為：單一射彈或一彈著群之平均彈著點與瞄準點的離散程度（如下圖一）。
- 二、**精度（Accuracy）**：依據美國彈道學家 Bryan Litz 所著《Modern Advancements In Long Range Shooting》13 頁定義為：不論準度，單就一彈著群本身散佈的密集程度（如下圖一）。



圖一 精度與準度關係示意圖

資料來源：[http : bergerbullets.com](http://bergerbullets.com).（檢索日期 2022 年 2 月 16 日）

三、 角分 (**MOA**): 原文縮寫為 MOA (Minute of Angle), 為角度單位, 1 角分相當於 $1/60$ 度 (即 0.01666 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 (本文將其省略為 2.9 公分)。故當敘述某槍枝具 1 角分之精度時, 通常指射擊 3 發 (5 發) 以上之彈著群, 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 角分則為 5.8 公分, 以此類推。因其角度量極小, 被軍事大量用於衡量槍枝精度或調整瞄準鏡修正風偏與射角之單位。(如圖二)



圖二 以數學解釋 100 公尺 1 角分之夾角大小及 MOA 刻劃鏡示意圖

資料來源：作者自行調製 (2022 年 2 月 16 日)

四、 米位 (**MRAD**): 又稱毫弧度角, 原文縮寫為 MRAD (milli-radians), 與 MOA 同為角度單位。因一個圓周 360 度等於 6283 米位, 故 1 米位相當於 0.0572975 度, 亦即 3.438MOA (因 1 度等於 60MOA)。米位和 MOA 的應用一樣, 在某個距離下可以用來表示特定的高度或寬度。1 米位在 100 公尺所形成的夾角差 (弦長) 相當於 10 公分、1000 公尺相當於 100 公分。由於換算方便, 因此軍用瞄準鏡或望遠鏡之鏡內刻劃常以米位為單位, 便於射手估算目標距離或實施射彈修正。(如圖三)

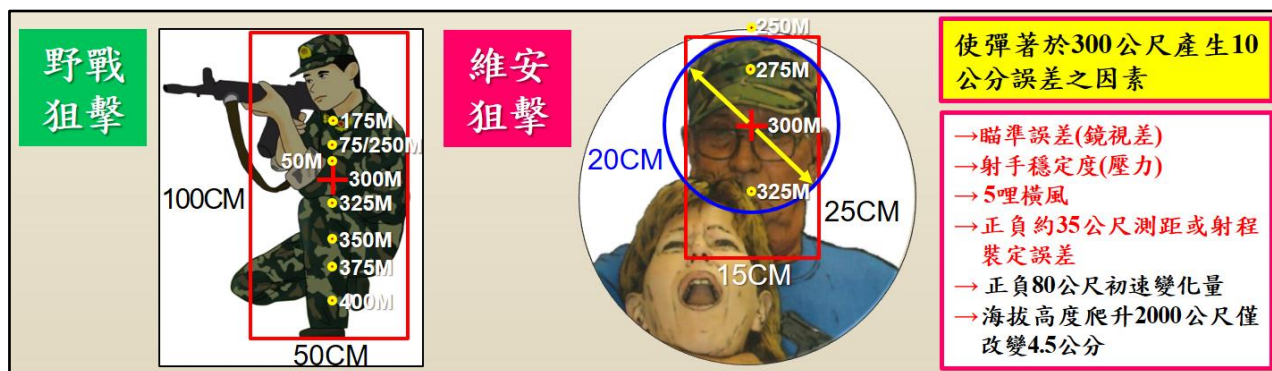


圖三 以數學解釋 100 公尺 1 米位之夾角大小及米位刻劃鏡示意圖

資料來源：作者自行調製 (2022 年 2 月 16 日)

五、**狙擊射程定義**：關於現代狙擊距離定義，雖然目前無文獻精確定義，然就經驗常數而言，實可區分：**0-300 公尺**為近距離（**Close Range**）、**300-600 公尺**為中距離（**Medium Range**）、**600-1000 公尺**為遠距離（**LR, Long Range**）、**1000 公尺**含以上為超遠距離（**ELR, Extreme Long Range**）。之所以如此劃分，著實有彈道上的意義，依序說明如下：

(一)近距離（0-300 公尺）：現代步槍或狙擊槍為能滿足中、遠距離射擊需求，使用之彈藥通常以高於音速 **2.5-2.7 倍**之超音速姿態飛行，因此 **300 公尺**內飛行時間極短（通常介於 **0.4-0.5 秒**），受外在環境因素影響甚小，即便是對彈道影響最甚的風，通常也需要大於 **10 哩**才有機會造成脫靶。加上此距離內，射擊散佈精度高且彈道高低變化小，故就實戰需求而言，可對任一目標以直接瞄準中心點之方式射擊，達到快速命中效果，為能發揮直射武器彈道低伸特性之有效射程，又被稱作直射距離（**PBR, Point Blank Range**），惟實際效果仍須視彈道能力或目標大小而定（彈道越低伸或目標高度越高，則直射距離越遠）。以最常見的**.308（175 格令）SMK** 彈藥特性為例，野戰狙擊手典型接戰目標為平均 **100 公分**高，以跪姿或低姿態躍進之人形目標，則將表尺裝定於 **300 公尺**，可對 **400 公尺**內目標實施直射；然而，若以維安狙擊手角度，其典型目標為平均 **20X25 公分**大小的頭形目標，則無法實施直射，需針對個別目標測距並裝定表尺始可達到精準命中之目的。（如圖四）



圖四 因應不同任務與目標，近距離內直射效果將不盡相同

資料來源：作者自行調製（2021 年 10 月 27 日）

(二)中距離（300-600 公尺）：對多數步槍、狙擊槍彈藥而言，此距離內彈道變化幅度開始增大，射手必須開始重視測距誤差控制與彈道裝定問題否則若無法給予槍管正確之射角，彈道將無法獲得適當之墜落補償值（**BDC, Ballistic Drop Compensations**），進而使脫靶機率加大（射程裝定錯誤彈道將明顯忽高忽低）。然而此距離內，彈頭受溫度、大氣壓力與相對溼度等外在環境因素之影響尚不明顯，只要表尺裝定正確，在無風的環境下，即便射手未即時修正上述環境因素問題，多數情況

仍可有效命中目標，故 600 公尺通常也是狙擊手欲使用某標準環境下，具固定彈道參數之射表的最大臨界距離。最後，500-600 公尺通常也是各種仰賴精準彈道參數之應用射擊，如移動目標射擊、應急修正射擊、轉槍面射擊...等之有效射程上限。

(三)遠距離（600-1000 公尺）：對多數步槍、狙擊槍彈藥而言，此距離內彈道受槍口初速變異量（MVV, Muzzle Velocity Variation，此變異量包含初速標準差¹與最大散佈²）、重力、風力、溫度、大氣壓力與相對溼度等內、外在因素影響，將變得較為明顯，如未能適時修正很可能造成脫靶。而且在此距離上，因射擊時槍面些許的傾斜角度控制與槍管因地形的俯仰角度影響、以及彈頭旋轉偏移（Spin Drift）與科氏力（Coriolis）等因素對彈道的影響程度也開始加大（如圖五）。以國造 T93K1 狙擊槍搭配 TC94 狙擊彈之模擬彈道（平均槍口初速每秒 808 公尺）為例：

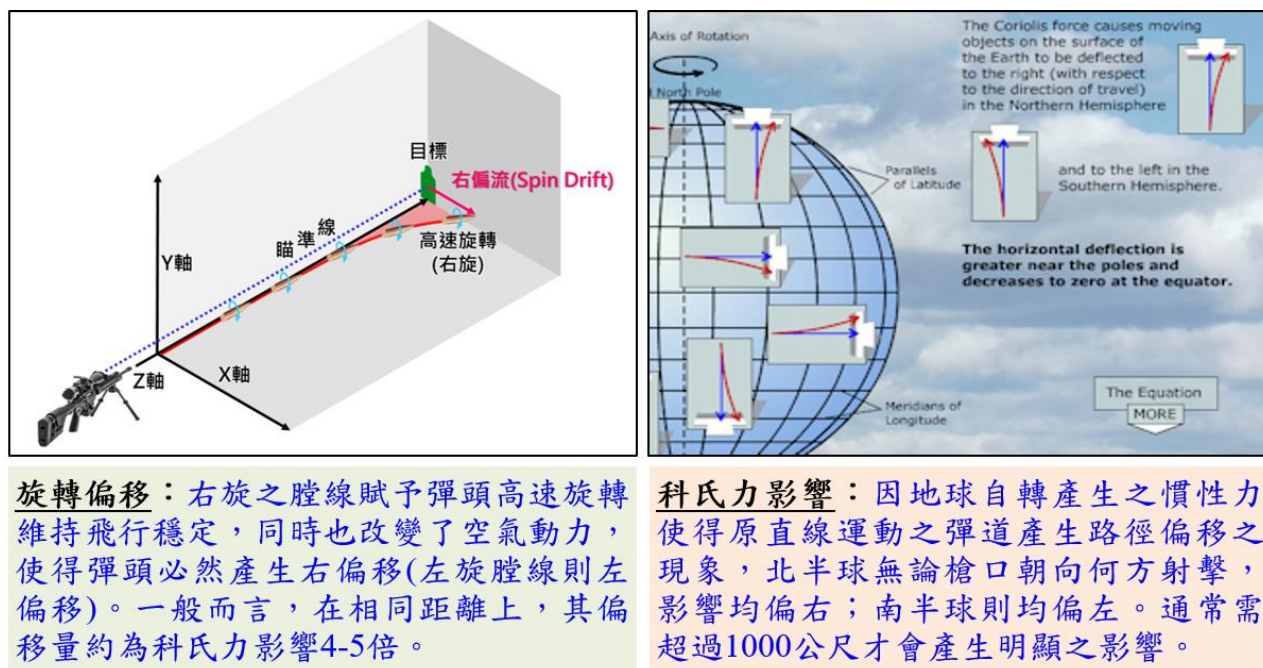
1. 就每秒正負 6 公尺之槍口初速變異量（即低劣彈藥品質界定上限）而言：於 600 公尺將產生約 11 公分之高低變化、800 公尺約 24 公分、1000 公尺約 47 公分。
2. 就傾斜角度影響而言：600 公尺傾斜 1 度約偏移 7 公分、傾斜 2 度約偏移 14 公分、傾斜 3 度約偏移 21 公分將近脫靶；800 公尺傾斜 1 度約偏移 15 公分、傾斜 2 度約偏移 30 公分造成脫靶，距離越遠傾斜角影響越大。
3. 就俯仰角度影響而言：600 公尺俯仰 10 度約使彈道偏高 5 公分、800 公尺俯仰 10 度約偏高 10 公分、1000 公尺偏高近 20 公分。
4. 就彈頭旋轉偏移而言：600 公尺約偏右 8 公分、800 公尺約偏右 16 公分、1000 公尺約偏右 32 公分。
5. 就科氏力影響而言：受科氏力影響之水平偏移量，無論槍口朝向何

¹ 所謂標準差（SD, Standard Deviation），是統計學中衡量一組數據平均離散程度的指標。射手得知初速標準差大小的實質意義為：第一，標準差越小、初速變化越小、外彈道表現越穩定。第二，可預測隨機射擊 1 發，其初速落在「平均初速」正負 1 倍標準差的機率約為 68%、落在正負 2 倍標準差的機率為 95%、落在正負 3 倍標準差的機率為 99.7%。一般取平均初速正負 2 倍標準差作為預測，便能涵蓋絕大多數可能產生的初速。如某槍枝平均初速為 810m/s，標準差為 5m/s，則可預測該槍隨機射擊 1 發，有 95%的機率初速將落在 800-820m/s 的範圍內。另依據 Bryan Litz 所著《Accuracy and Precision for Long Range Shooting》一書第 272 頁定義：關於初速標準差之控制，小於或等於每秒正負 10 英呎，為手工精密裝填之彈藥品質；小於或等於每秒正負 15 英呎時，為工廠精密生產之彈藥品質；大於每秒正負 20 英呎時，則為低劣之彈藥品質。另其亦歸納，對大部分遠距離射擊彈藥而言，初速誤差若能控制在每秒正負 10 英呎內時，等同於 1000 碼處產生 0.5-1MOA 不可控制之垂直散佈（彈道高低落差）。

² 槍口初速最大散佈（ES, Extreme Spread），為衡量彈藥穩定性或極端表現之主要參考數值，以 110 年國軍狙擊手競賽第一類狙擊手使用的 M33 .50 口徑普通彈為例，經本部實測槍口初速最大散佈可達 21 公尺，此不可控制因素將於 1000 公尺上產生約 60 公分不可控制的彈道高低變化。故美國實用彈道學家 Bryan Litz 於《Applied Ballistics for Long Range Shooting》一書第 188 頁建議，就遠距離射擊目的而言，槍口初速最大散佈不宜超出每秒 30 英呎（即約 9 公尺）。可見我國目前使用之狙擊槍、彈素質與先進國家標準尚有精進空間。

方，800 公尺約偏右 3.3 公分、1000 公尺約偏右 6 公分、垂直偏移，朝東（朝西）射擊，800 公尺約偏高（偏低）約 7.5 公分、1000 公尺約偏高（偏低）約 15 公分。

綜合上述觀點，以 600 公尺作為中、遠距離之劃分，確實有其彈道上的意義。



圖五 子彈右旋偏移與北半球科氏力影響示意圖與附加說明

資料來源：作者自行調製（2021 年 9 月 16 日）

(四)超遠距離（1000 公尺含以上）：對大多數狙擊彈藥而言，彈頭飛行超過 1000 公尺時，彈道本身對各種可控制或不可控制的內、外在影響因素，如射擊時槍面的傾斜角度與槍管的俯仰角度、射手本身的射擊能力（瞄準誤差與射擊穩定度）、測距與射程裝定誤差、測風與風偏修正誤差；槍枝彈藥本身的精度散佈、槍口初速變異量；彈頭因高速旋轉產生的右偏移量（又稱右偏流）；受到不同空氣密度與飛行阻力（包含海拔高度、大氣壓力、溫度與相對濕度）產生的彈道變化、變化莫測的風速風向，甚至因地球自轉產生的科氏力影響等因素，都已經到了失之毫厘、差之千厘的程度，已非如同 300-600 公尺中距離上，射手心存僥倖、刻意忽略彈道修正都還能幸運命中目標。因此，超遠距離射擊前彈道考量因素相當眾多，射手若未能將上述因素納入修正考量或設法降低其影響，將對超遠距離之精準度產生極不利之結果。另外，對當前各國常見軍用狙擊彈藥而言（.308 Win、.300 Win Mag、.338 Lapua Mag.以及.50 BMG 等），彈頭於 1000 公尺前後，殘餘速度將低於每秒 408 公尺（穿音速影響）或每秒 340 公尺（次音速影響），使得彈道模擬輸出之參數準確度與彈頭本身之飛行穩定性均大幅度下降，欲實施精準射擊愈加困難。

而彈頭飛行之殘餘速度低於每秒 408 公尺開始進入穿音速影響之距離，也是美國彈道學家 **Bryan Litz** 欲重新定義現代狙擊超遠距離之標準，因此不同彈藥能力將產生不同之超遠距離界定。

參、射彈精度限制與測量方法

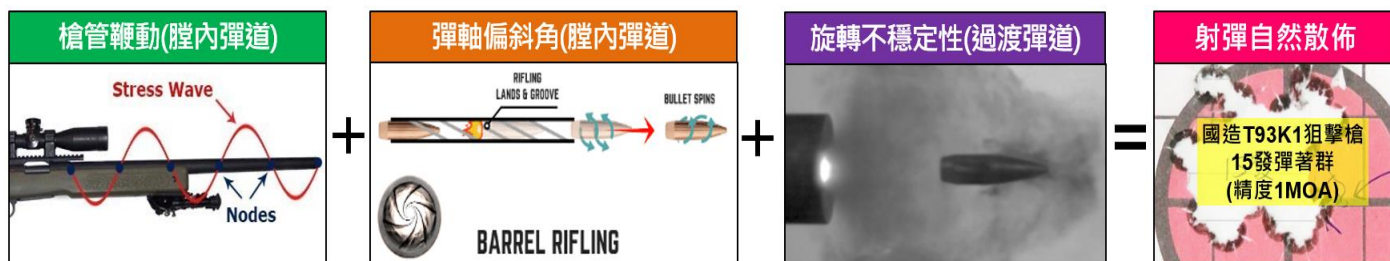
一、射彈精度限制

射彈精度為一彈著群本身散佈的密集程度。射彈越密集、精度越高；射彈越散、精度則越低。只是，相信大部分狙擊手都可能會有一個疑問，那便是：「為何在科技與工藝水準已經非常進步的當代，狙擊槍的精度仍然無法做到每一發都能重疊的程度？」其主要原因不單只是槍械或彈藥本身的設計構造、加工精度或品質管控等問題，其實背後還牽扯很多彈道限制因素，進而使射彈於膛外產生不可避免的偏差，最終在各距離上呈現出不同的彈著群大小。茲將各種可能的潛在影響因素說明如下：

- (一) 現代狙擊用精準彈藥為了降低空氣阻力，滿足遠距離飛行需求，彈頭設計通常具流線彈尖、細長彈身與船尾彈底等特徵，雖然能夠飛行得更遠，但也因此更不容易維持飛行全程之穩定性，必須仰賴膛線賦予彈頭極高的轉速來維持彈頭不致失衡、翻滾，彈頭在高速旋轉的過程中遂可能於空氣中飛行同時存在某種動態不平衡的現象（**Imbalance**），是為射彈於膛外偏差的潛在原因之一。
- (二) 又若彈頭之彈形部（彈面）在崁入陽膛線起始端（逼坡）瞬間，因兩者間距離匹配關係使彈頭進入槍膛產生非常微量的偏斜角（即 **Bullet Jump**，空進距離學理之探討重點），即使彈徑與膛徑兩者匹配十分嚴密，因彈頭殼可能存在之彈性與塑性變形，彈軸與槍管軸線也很難在極其短暫的內彈道運動過程中（一般約 0.001-0.0013 秒）達到完美地同軸（**Misalignment**），是為射彈於膛外偏差的潛在原因之二。
- (三) 又若彈頭在飛離槍口前完全沒有任何偏斜、彈軸與槍管軸線也達到完全同軸，但因為彈頭飛離槍口瞬間，火藥氣體因燃速高於彈頭之槍口初速，勢將早一步溢出槍口並形成一高壓區，彈頭穿越過程可能因此對彈道產生非常微妙的影響（即 **Transition Ballistic**，過渡彈道學理之探討重點），是為射彈於膛外偏差的潛在原因之三。
- (四) 甚至，槍管在射擊瞬間因火藥燃燒之高壓氣體、後座力及震波產生的高頻擺動，即使擺幅極小，也可能造成射彈方向改變（即 **Barrel Whip**，槍管鞭動學理之探討重點），是為射彈於膛外偏差的潛在原因之四。

綜合上述各種可能造成射彈「不可控制」偏差的潛在原因，我們便能理解

為何即便射手射擊能力再高超、瞄準再精細、據槍再穩固、使用的槍枝與彈藥再精良、甚至把所有可能影響精準度的因素控制在很小的誤差範圍內，射彈終究還是不可避免產生一定程度之散佈程度(如 1MOA、0.75MOA、0.5MOA...)，而且呈現出圍繞彈道中心，一種看似可以控制卻又隨機性的自然散佈現象。而此散佈面的範圍大小，即所謂之精度。(如圖六)

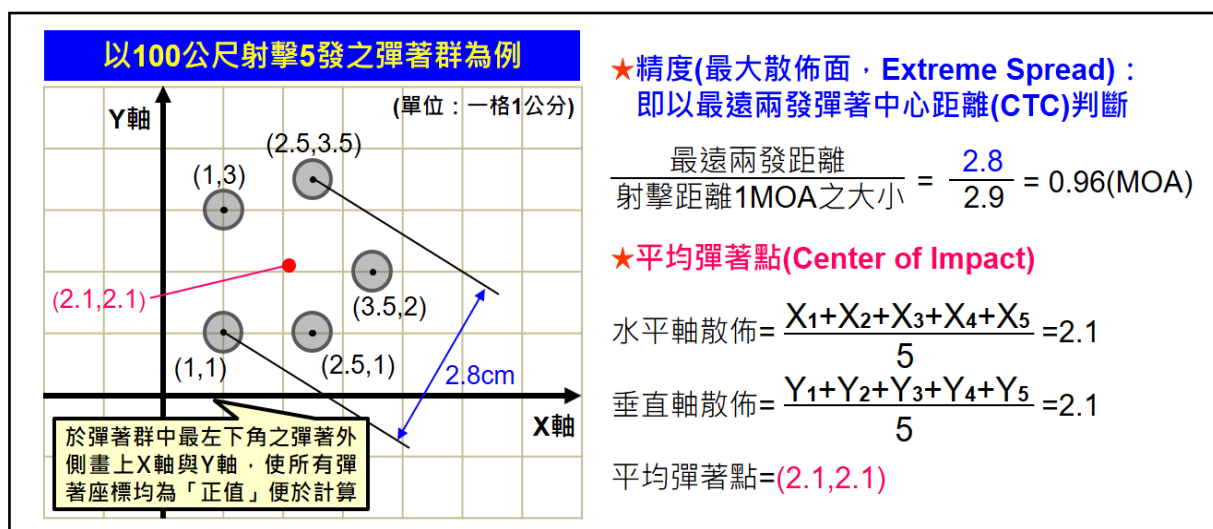


圖六 各種可能造成射彈「不可控制」偏差的潛在原因示意圖

資料來源：作者自行調製（2022 年 5 月 16 日）

二、射彈精度測量方法

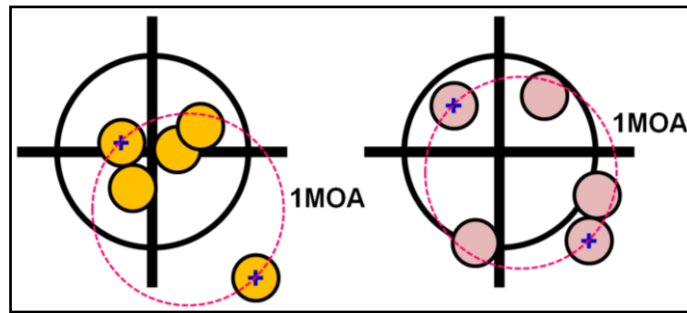
傳統上，射手欲了解射擊精度（彈著散佈面）大小，通常可藉測量該彈著群中散佈最遠的兩顆彈著中心距離（CTC，Center to Center）來判斷，又稱最大散佈面（ES, Extreme Spread，後文均簡稱 ES）（如圖七），由於該方法不考慮實際射擊發數多寡，無論射擊幾發，永遠都是藉其中 2 顆射彈來決定一彈著群之整體表現（這樣的抽樣數在統計學上過低，如射擊 5 發僅抽樣 2/5、射擊 10 發僅抽樣 2/10...），故以此方法測得之數值，將難以客觀呈現所有彈著點的實際散佈特性，容易產生「一竿子打翻一船人」的現象，較不具代表性。



圖七 最大散佈面與平均彈著點人工計算方法

資料來源：作者自行調製（2022 年 2 月 16 日）

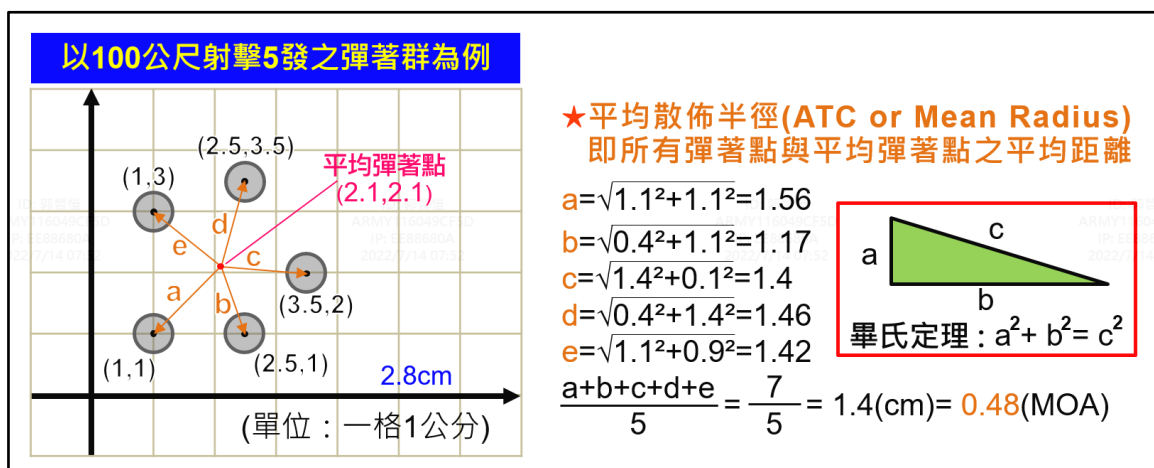
以下圖八為例，兩個 5 發彈著群精度均為 1MOA 標準，很顯然的左邊的彈著群散佈程度明顯較右邊彈著群來的密集，但又有一顆明顯偏右下，以至於很難明確說出兩者散佈狀況真正差異到多少？



圖八 兩散佈密集程度明顯不同之 1MOA 彈著群示意圖

資料來源：作者自行調製（2022 年 2 月 16 日）

為了更客觀診斷彈著點的實際散佈特性，經查證國外精準射擊專家與國內廠製單位做法，通常會改採另一種更精密的測量方法，即計算彈著群的平均散佈半徑（MR, Mean Radius 或稱 ATC, Average to Center，後文均簡稱 MR），其係指某彈著群中所有彈著與平均彈著點之平均距離，計算方法如下圖九所示。由於 MR 考量到該彈著群每一射彈實際與平均彈著點之關係，與 ES 相比，較能客觀且具代表性地呈現彈著群的實際散佈特性。



圖九 平均散佈半徑人工計算方法

資料來源：作者自行調製（2022 年 2 月 16 日）

然因計算 MR 時，需先計算該彈著群之平均彈著點，如果僅射擊 3 發計算還算簡單（如步槍歸零常用的分角線法或邊線平分法），但如果超過 3 發，一次 5 發、10 發甚至 20 發時，不僅無法用 3 發的方法求取外，且人工方式計算也相當複雜，可謂費力又費時（方法如圖七所示），故為求效率，建議可以智慧手機下載 SubMOA、Ballistics X 等精度測量軟體搭配使用。如下圖十，即為作者以國造 T93K1 狙擊槍於 100 公尺實際射擊 5 發之彈著群，透過 SubMOA 免費軟體計算得到該彈著群 ES 與 MR 之範例，該群精度為 0.98MOA、平均散佈半徑為 0.41MOA，亦可將其視為 100 公尺歸零品質之最低標準。此外，透過軟體計算還有一個額外的好處，便是獲得平均彈著點（POI, Point of Impact）與瞄準點（POA, Point of Aim）之偏差量，進而提升歸零品質。如下圖十右下角黃色方框顯示，可得知目前該彈著群平均彈著點與瞄準點的關係為：高低偏低 0.5 公分

(不到 0.2MOA)、方向居中 (0mm Right)，就國造 TS95 狙擊鏡設計其高低/風偏調整螺每響修正量均為 0.5MOA 的條件來說，已達到應有之歸零品質。



圖十 作者以國造 T93K1 狙擊槍於 100 公尺射擊 5 發彈著群測量範例

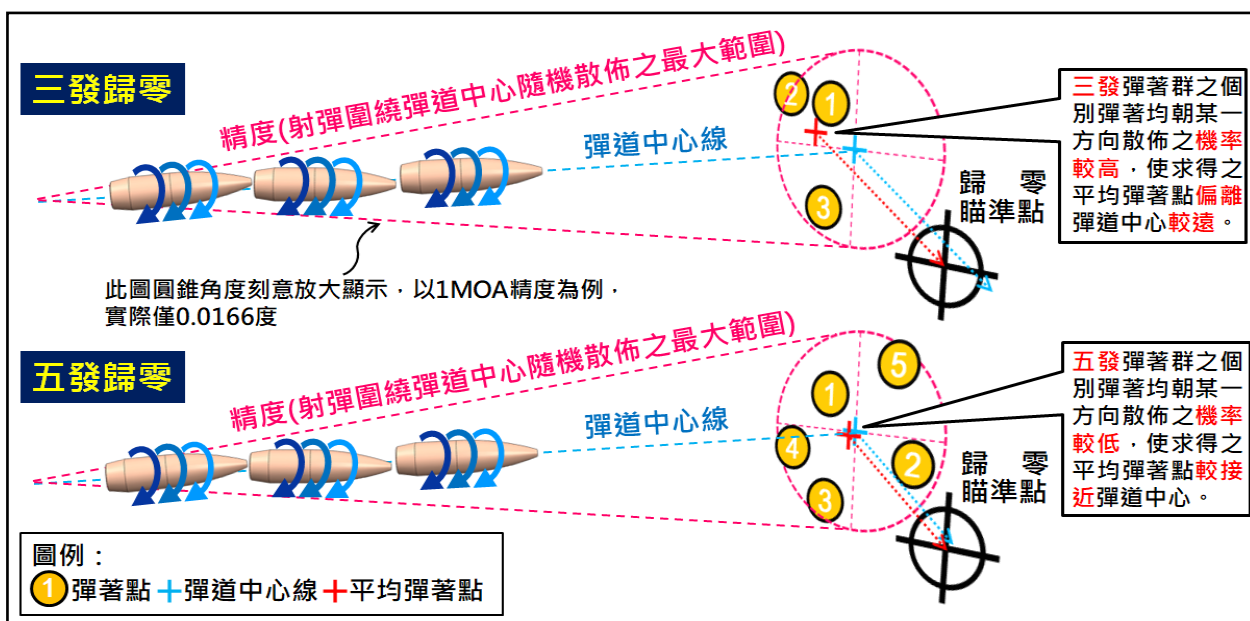
資料來源：作者自行調製（2021 年 10 月 28 日）

肆、傳統精準射擊能力評估問題

我國傳統狙擊手訓練，通常以 100 公尺射擊 3 發之彈著群散佈大小來衡量某狙擊手之射擊精度或某槍彈之精度表現。在如此的訓練模式與思維下，我們經常會聽到射手說：「把槍可以打出 1MOA（甚或更佳）的精度！」只是若有機會進一步詢問對方下列問題時：「這是幾發打出來的精度呢？」、「每次打都這樣嗎？還是十次只出現一次？你是指打最好的那一次嗎？」…很高的機率，原本從射手口中自信說出的這一句話將不再成立。原因在於，傳統的方法僅以 1 個 3 發彈著群來斷定一種槍彈或一位射手具有射擊 1MOA（甚或更佳）精度的能力，其實裡面著太多「運氣成分」與「不確定因素」。這樣的衡量方式並無法有效且客觀地呈現出真實的狀況。這也是為什麼狙擊槍、精準步槍（或加裝瞄準具的一般步槍）等較要求精準度並依賴彈道應用的武器，通常會採 5 發 1 彈著群來實施歸零校正的原因。³畢竟歸零是透過觀察一彈著群之平均彈著點與瞄準點兩者間的距離來換算修正量並實施調整，在射彈採隨機性圍繞著彈道中心自然散佈的前提下，3 發彈著群之個別彈著均剛好朝向某一特定方向散佈之機率相較 5 發彈著群來的高，故僅射擊 3 發若不幸上述巧合發生，不僅會讓射手誤以為射擊精度相當高外，據此計算出來的平均彈著點，反而還會偏離真正的彈道中心較遠，若受限於彈藥而未能再進行一次驗證，此既存之錯誤，將可能使後續中、遠距離射擊時，產生彈道計算機所預測之響數無法與實際彈道所需吻合之問題。

（如圖十一）毫無疑問的，射擊 3 發彈著群所形成的散佈面通常較小，但不代表這就是能斷定該槍彈的平均精度或射手規律的射擊能力依據。是否能用更可靠的方法來解決傳統訓練上既存的問題？即為本文研究重點所在。

³ 依據美國陸軍 2019 年頒布的新式步槍射擊鑑定標準(TC3-20.40)，連一般步槍也一改傳統 3 發歸零方式。其要求在歸零前必先完成 25 公尺 5 發精度測試(Grouping)，其中 4 發能散佈在 4 公分內始為合格(目標為 3 公分內)，確認射手射擊穩定度與一致性均符合標準後才會進入歸零階段且後續歸零均採 5 發 1 群實施彈著修正。



圖十一 3發與5發歸零主要差異示意圖

資料來源：作者自行調製（2022年5月16日）

伍、Bryan Litz 射彈散佈理論介紹

美國彈道學家 Bryan Litz 於其著作《Modern Advancements in Long Range Shooting》一書所提出的射彈散佈理論，是實際觀察統計美國國內 238 位競賽級板凳射手（Competitive Benchrest Shooter）於 1000 碼內各距離之射彈散佈數據並透過分析發展而來，在無其他因素影響前提下，可有效預測 1000 碼內不同距離、不同射擊發數可能的射彈散佈面大小。而板凳射擊競賽相當重視且著重於追求最佳精度與散佈面，因此通常會使用特製托架與沙包實施穩固依托，藉以消除射擊過程中的人為影響。（如圖十二）雖然與軍隊的野戰狙擊手相比，有著裝備上的差異，但倘若狙擊手也能於射擊時妥善運用兩腳架與沙球實施穩固依托，實際上所需的射擊技巧與彈著散佈差異特性並不大。故就作者個人觀點，在無其他更具系統的理論被證實之前，Bryan Litz 的射彈散佈理論暫時可以滿足狙擊手訓練所需。茲將其主要內涵說明如下：



圖十二 美國板凳射擊（Benchrest Shooting）示意圖

資料來源：<http://bulletin accurateshooter.com> 及 <http://shoot-on.com>（檢索日期 2022 年 2 月 16 日）

一、衡量槍彈精度或射手素質之方法

依據美國彈道學家 Bryan Litz 於《Modern Advancements in Long Range Shooting》一書第 11 頁所述，其明確指出：一次射擊 5 發，連續射擊 5 次（5 Groups of 5 Shots）並觀察射彈散佈平均表現，是目前最能客觀衡量某一槍枝、彈藥所能呈現出之精度或衡量某位射手素質之方法。畢竟，要能連續射擊 5 發散佈面還能小於 1MOA，甚至連續射擊 5 群，所有個別精度或平均值仍然小於 1MOA，光憑「運氣」是絕對難以達到的。甚至，有些時候，其為了區分出不同手動裝填方式（如發射藥與底火形式、彈頭填壓深度…等差異）對精度產生的真正差異，還會用到 10 次的 5 發彈著群來確認。因此，就鑑定一位狙擊手射擊能力目的而言，以一次射擊 5 發連續射擊 5 群的方式，是目前綜合考量槍管壽命、彈藥成本與實質效益…等因素下的最佳方案。

二、射彈發數與精度大小之關係

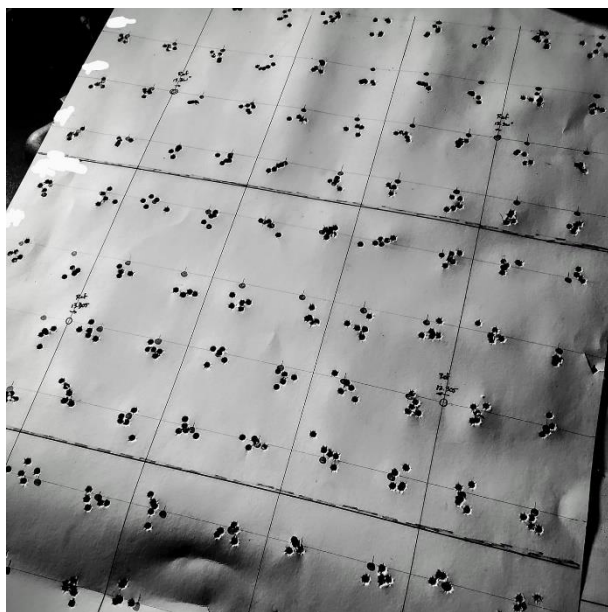
通常射擊發數越多，越能顯示出槍枝彈藥真正的精度能力，但相對地散佈面往往也會變得更大。其不同射擊發數與彈著群散佈大小之關係，可參考美國彈道學家 Bryan Litz 於《Modern Advancements in Long Range Shooting》一書第 8 頁所提出之大數據理論，其數值係原作者經大量實彈射擊驗證後統計而來，相當具有參考價值。（如圖十三、圖十四）如此一來，狙擊手便能在辨識不同射擊發數的彈著群精度時，有更合理的換算依據。如某位射手原本使用某槍枝於某距離上射擊 5 發精度為 1.25MOA，則在相同條件下，改要求一次射擊 10 發，理論上精度將增大為 1.55MOA，即 1.25MOA 乘以 1.24 倍（5 發與 10 發彈著群散佈關係）。

		Extend group to this many shots						
		2	3	4	5	10	20	30
		Scale Factor						
Shots in group	2	1	1.35	1.57	1.73	2.15	2.50	2.70
	3		1	1.16	1.28	1.58	1.85	1.99
	4			1	1.10	1.36	1.59	1.72
	5				1	1.24	1.45	1.56
	10					1	1.17	1.26
	20						1	1.08
	30							1

Table 1.1. Growth in group size based on number of shots.

圖十三 Bryan Litz 不同射擊發數之彈著群散佈大小換算理論

資料來源：Bryan Litz, 《Modern Advancements in Long Range Shooting- Volume II》
（U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2016）,P8。（檢索日期 2021 年 9 月 16 日）

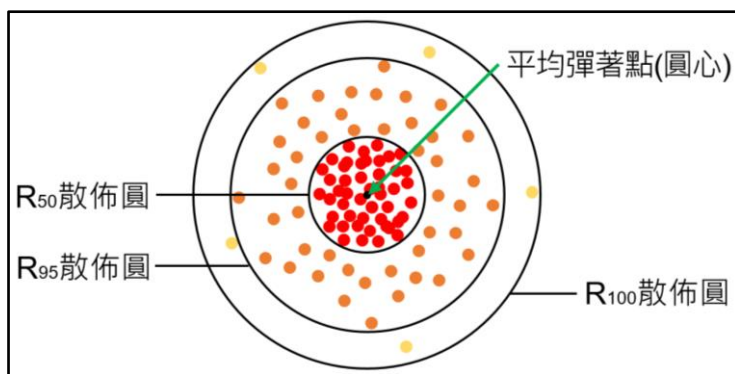


圖十四 Bryan Litz 射彈散佈理論實彈驗證一景

資料來源：自〈Bryan Litz Ballistics〉官方臉書下載（檢索日期 2021 年 9 月 16 日）

二、平均散佈半徑與 R95 散佈圓之關係

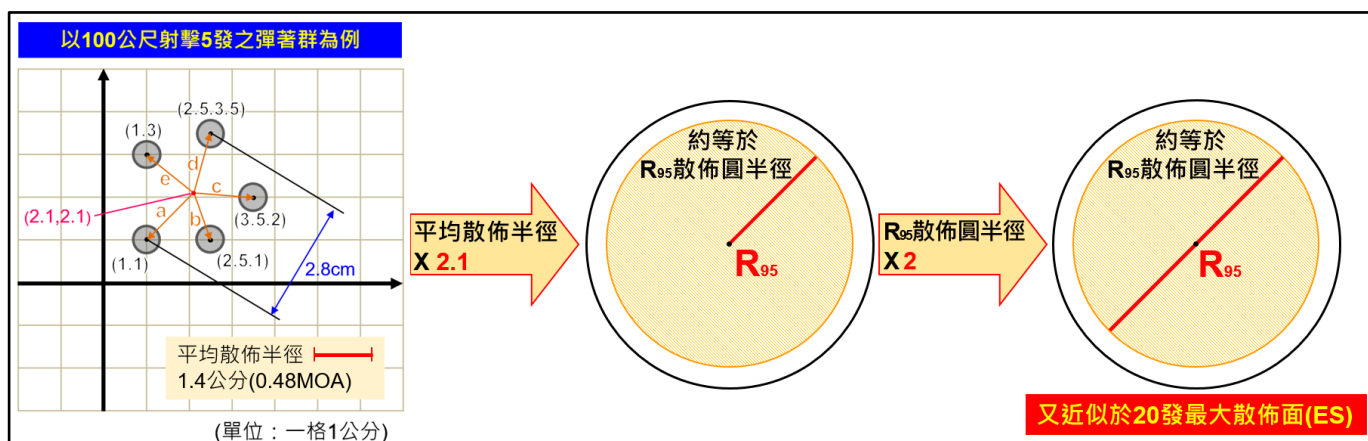
美國彈道學家 Bryan Litz 於其著作《Modern Advancements in Long Range Shooting》一書第 9-19 頁中指出，如果想透過 **MR** 預測彈著群可能的 **ES**，可以將 **MR** 乘以 **2.1**，即可得到 **95%散佈圓半徑**（通常以 **R95** 表示，即理論上射擊 100 發將有 95 發射彈將散佈在以該半徑所構成的圓圈範圍內，如圖十五）。



圖十五 R95 散佈圓示意圖

資料來源：作者自行調製（2022 年 5 月 16 日）

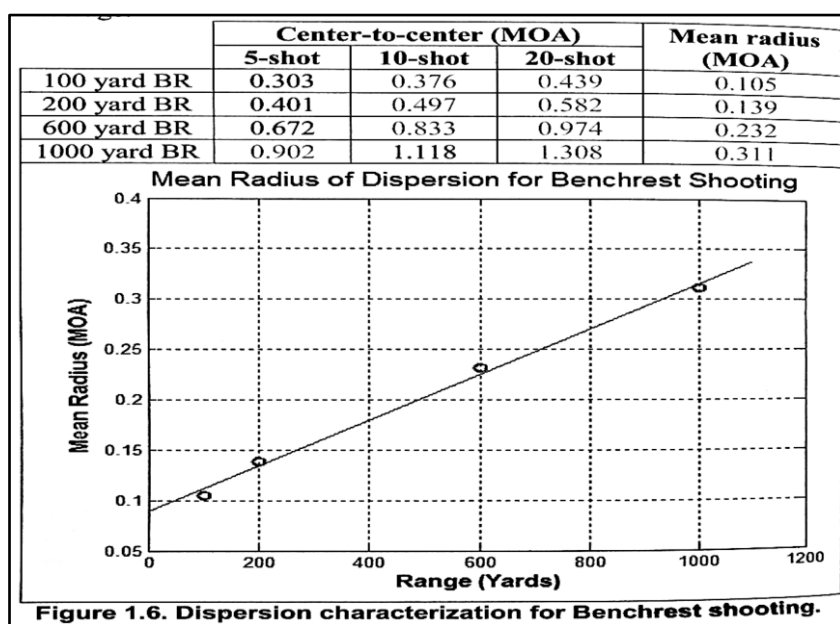
因此只要將 **95%散佈圓半徑**再乘上 **2**，即可獲得 **95%散佈圓直徑**。而此散佈面大小，經 Bryan Litz 實際統計美國國內 238 位競賽級板凳射手（Competitive Benchrest Shooter）於 1000 碼內各距離之射彈散佈數據，發現通常射擊 20 發時，射彈散佈面就已經非常接近 95%散佈圓（即得到 **20 發最大散佈面**”近似於” **R95 散佈圓**之結論），完整的計算步驟如圖十六所示。



圖十六 平均散佈半徑與 20 發最大散佈面關係示意圖

資料來源：作者自行調製（2022 年 5 月 16 日）

此外，美國彈道學家 Bryan Litz 也指出：MR 會隨著射擊發數增加而增大，但改變的程度遠不如 ES。也就是說當使用 MR 衡量精度時，即使只有少數射彈數，也較能夠預測出當改以較多射彈數射擊時可能之表現（如可藉 100 公尺 5 發之彈著群來預測於不同距離射擊 20 發可能的 ES）。而 Bryan Litz 也在大量統計美國國內 238 位競賽級板凳射手數據後發現，在高度穩定的射擊表現下，MR 在 100 碼到 1000 碼距離內，竟意外地呈現線性分佈，其每百碼距離的增減率約為 0.023MOA 。⁴也就是說，假設某一特定發數的彈著群（無論 3 發、5 發甚或 10 發）於 100 碼 MR 為 0.35MOA ，則可預測該相同發數彈著群於 300 碼處的 MR 將可能增加為 0.396MOA ($0.35+0.023\times 2$)，反之，則為遞減。（如圖十七）



圖十七 Bryan Litz 不同射擊發數之彈著群散佈大小換算理論

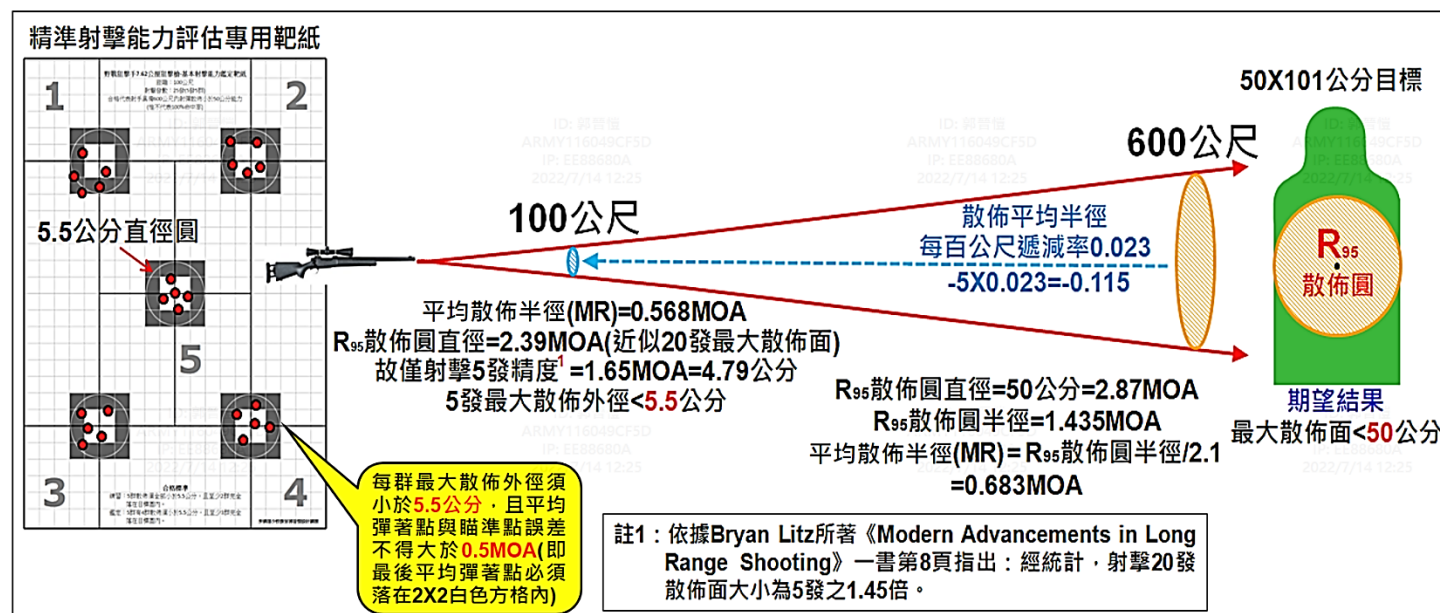
資料來源：Bryan Litz, 《Modern Advancements in Long Range Shooting- Volume II》 (U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2016), P18. (檢索日期 2022 年 7 月 29 日)

⁴ 資料來源：Bryan Litz, 《Modern Advancements in Long Range Shooting-Volume II》, P24.

對此，作者曾於民國 111 年 3 月初率「狙擊手師資種能複訓班」進行 Bryan Litz 射彈散佈理論驗證。在完整蒐集所有訓員 100 公尺 5 發 5 群之平均 MR 後，先個別換算每一個人於 500 公尺一次射擊 10 發可能之散佈面大小，再進行 10 發實彈驗證。最後驗證結果：38 員訓員於 500 公尺上的 10 發散佈面均符合 Bryan Litz 理論計算結果，且實際散佈面大小僅約理論散佈面之 80%，提供讀者運用時參考。

陸、Bryan Litz 射彈散佈理論應用—新式狙擊手精準射擊能力評估與鑑定

作者在充分理解 Bryan Litz 所提出之射彈散佈理論後，特地考量國軍野戰狙擊手實際作戰訓練需求，將其理論發展規劃成一項能有效診斷狙擊手是否具備實戰射擊能力的評估方法與標準。請參考圖十八圖示說明並搭配附件—精準射擊能力評估專用靶紙下載使用。



圖十八 野戰狙擊手—精準射擊能力評估示意圖

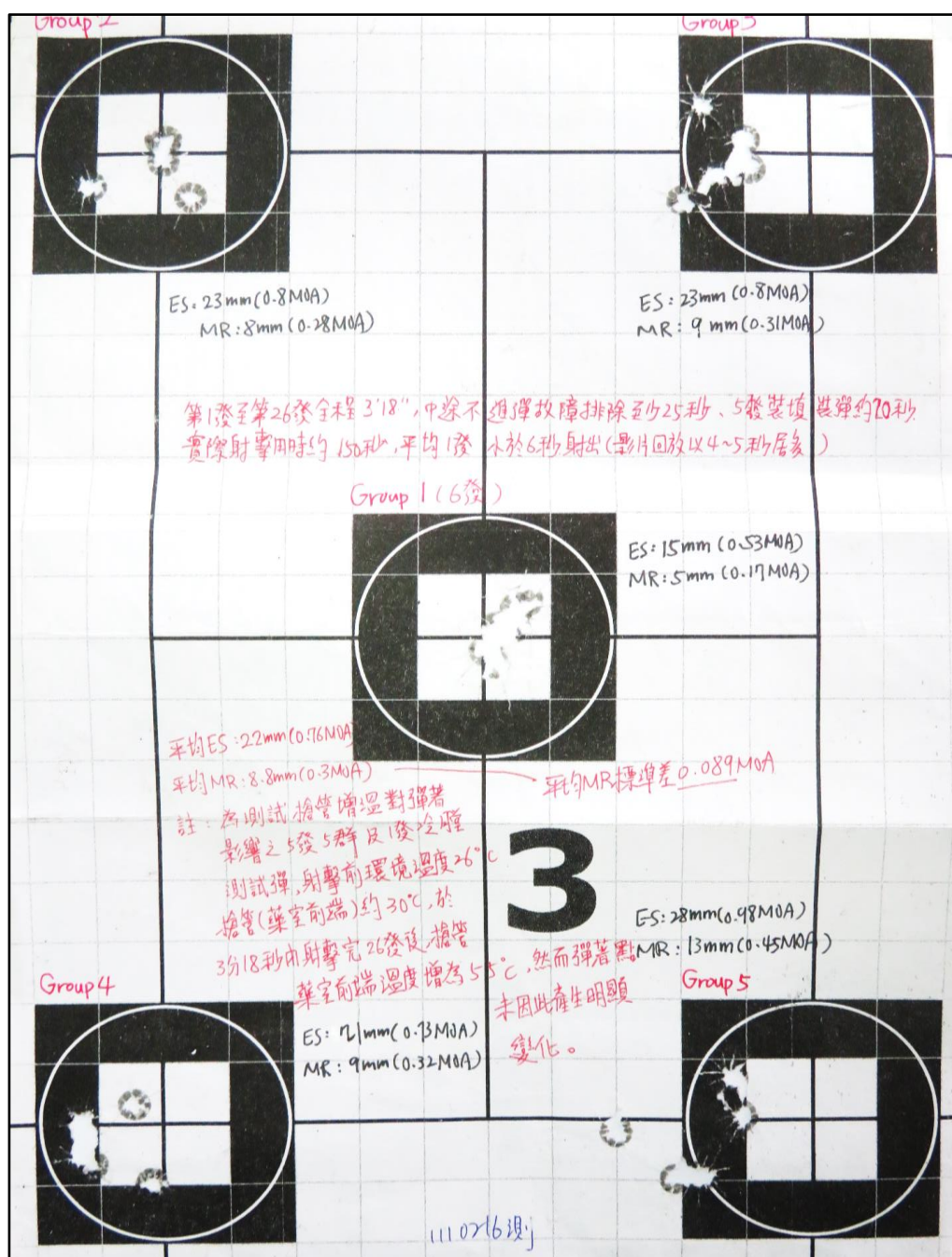
資料來源：作者自行調製（2022 年 3 月 14 日）

其理念在於：希望藉此一射擊評估狙擊手是否具備於 600 公尺處將所有射彈（至少 95%）之散佈面控制在小於 50 公分範圍內之能力。透過理論逆向計算，最後可得知只要在 100 公尺距離將每一個 5 發彈著群的最大散佈外徑控制在小於 5.5 公分直徑圓範圍內，即可達到此一目的（不妨稱之為 5555 理論）。須特別注意的是，為了便於射手能在靶場直接以游標卡尺或直尺測量測結果，這裡所要求的 5.5 公分，是指最遠兩發彈著的彈孔外側距離。故只要散佈面能控制在此大小內，即等同該射手具備 5 發射擊小於 1.65MOA 精度之能力。惟此設計未將「外在環境」因素納入考量，故不能代表 600 公尺上即能獲得 100%命中率。相關使用說明如下：

- (1)本項目僅適用 7.62 公厘口徑精準步槍或狙擊槍，如欲以其他口徑槍枝進行射擊能力評估，需重新考量其平均接戰目標大小與距離（戰鬥需求），再逆向計算 100 公尺距離上可能之標準。
- (2)必須完成精確歸零後始可實施。
- (3)射速要求一期望目標：手栓式狙擊槍每 5 發彈著群必須在 30 秒內完成（約 5-6 秒射擊 1 發之射速）；半自動精準步槍每 5 發彈著群必須在 20 秒內完成（約 3-4 秒射擊 1 發之射速）。最低訓練門檻：每 5 發彈著群必須在 50 秒內完成（即 10 秒射擊 1 發之普通射速）。
- (4)精準度要求一期望目標：手栓式狙擊槍 5 個 5 發彈著群最大散佈外徑均須小於 5.5 公分（半自動精準步槍為 6.9 公分），且每群平均彈點與瞄準點誤差不得大於 0.5MOA（即平均彈著點必須落在專用靶紙 2X2 白色方格內），始為合格。可藉此檢視射手射擊能否持續維持射擊穩定與一致性。最低訓練門檻：5 個彈著群中，可容許 2 群各發生一次失誤，惟該 2 群扣除最差 1 發後，其餘 4 發彈著群仍可小於 5.5 公分要求（半自動精準步槍仍為 6.9 公分），且平均彈著點與瞄準點誤差仍不得大於 0.5MOA。
- (5)每群間隔時間不得低於 90 秒，除可供射手適度休息恢復專注力外，亦可避免因連續射擊槍管溫度驟增、熱傳導率或槍管鞭動等規律改變，使彈著產生不必要之偏移，更可避免槍膛磨耗加速而降低槍管壽命。圖十九為作者刻意以國造 T93K1 狙擊槍搭配國造 TC94 狙擊彈進行的極端溫度測試：全程不休息，以 4-6 秒射擊 1 發的速度，於 150 秒內完成 5 發 5 群共計 25 發的射擊。結束後測量藥室前端對應之槍管外部溫度至少增加攝氏 25 度，然而，除了 3 群因 TS95 狙擊鏡視差無法完全消除與人為問題明顯左偏外，所有彈著群平均彈著點均未發現有任何因槍管溫度驟增而產生的高低變化。
- (6)射擊後若發現彈著群之平均彈著點有明顯偏移（尤其是射手尚不習慣本鑑定要求之射擊節奏而未能專注於精準射擊應該注意的細節），不應與歸零混為一談，必須另外射擊確認正確彈著點與瞄準點關係、再實施調整。
- (7)除依上述要求判定是否合格外，亦可將每個彈著群透過精度測量軟體（如SubMOA、Ballistics X 等）分別計算出 MR，再將 5 個 MR 平均作為該名射手的整體表現。此時搭配作者調製之「100 公尺 5 發平均散佈半徑於各距離最大散佈面換算表」（表一），即能有效預測該射手素質在不同射程上的可能產生的 ES，作為預判命中率大小之參考，使遠距離射擊前能更具信心。以圖十九作者實際射擊靶紙為例，平均 MR

為 0.3MOA，故可以預測以目前作者的射擊水準，在 800 公尺完全無風的狀態下，理論上應具備將 20 發射彈散佈面控制在 44.9 公分內的能力。另就作者實務教訓經驗，以目前國造「槍、鏡、彈」系統的整合能力而言，射手 5 發 5 群平均 MR 應以追求控制在小於 0.45MOA 為期望目標、小於 0.3MOA 為終極目標。

- (8)如果射手還想更進一步的掌握每一次的射擊能力評估是否有更細緻的差異，建議可額外計算 5 個 MR 的標準差 (SD)，如能將標準差控制的越小，則即便某兩位射手的平均 MR 大小均相同，在射擊相同發數的條件下，標準差較小的那位射手，其彈著散佈將具有更密集的潛力。



圖十九 作者「狙擊手精準射擊能力評估」實測結果
資料來源：作者自行拍攝（2022年2月16日）

表一 100 公尺 5 發平均散佈半徑於各距離 20 發 (R95) 最大散佈面預測換算表

100 公尺 5 發平均散佈半徑於各距離 20 發 (R95) 最大散佈面預測換算表						
平均散佈半徑 (MR) (單位：MOA)	射程 (單位：公尺)					
	500	600	700	800	900	1000
0.1	11.7	15.7	20.3	25.4	31.1	37.4
0.15	14.7	19.4	24.6	30.3	36.6	43.5
0.2	17.8	23.0	28.8	35.2	42.1	49.6
0.25	20.8	26.7	33.1	40.0	47.6	55.7
0.3	23.9	30.3	37.3	44.9	53.1	61.8
0.35	26.9	34.0	41.6	49.8	58.5	67.8
0.4	30.0	37.6	45.9	54.7	64.0	73.9
0.45	33.0	41.3	50.1	59.5	69.5	80.0
0.5	36.1	44.9	54.4	64.4	75.0	86.1
0.55	39.1	48.6	58.7	69.3	80.5	92.2
0.6	42.1	52.3	62.9	74.2	85.9	98.3
0.65	45.2	55.9	67.2	79.0	91.4	104.4
0.7	48.2	59.6	71.4	83.9	96.9	110.5
0.75	51.3	63.2	75.7	88.8	102.4	116.6
0.8	54.3	66.9	80.0	93.6	107.9	122.7
0.85	57.4	70.5	84.2	98.5	113.3	128.7
0.9	60.4	74.2	88.5	103.4	118.8	134.8
0.95	63.5	77.8	92.8	108.3	124.3	140.9
1.0	66.5	81.5	97.0	113.1	129.8	147.0
1. 表內數值單位為公分。 2. 藍色字體代表最大散佈面可控制小於 25 公分，為最有利精準射擊之高標準；綠色字體代表最大散佈面約可控制在 25~50 公分之一般標準；橘色字體代表最大散佈面已大於 50 公分，若射手無法達到此標準，將不利於相對應射程上獲得預期有效命中效果。紅色字體則代表最大散佈面已大於 100 公分，為最差之情況。						

資料來源：作者自行調製，參考美國彈道學家 Bryan Litz 於《Modern Advancements in Long Range Shooting》一書第 11 頁之彈著散佈理論調製而成。(2022 年 3 月 14 日)

柒、結語

良好的精度與準度同為狙擊手能否成功命中遠距離目標的兩大關鍵要素，缺一不可。本文詳細介紹如何有效測量精度並合理運用美國彈道學家 Bryan Litz 所提出的射彈散佈理論，無非是希望我國狙擊手均能正確理解射彈散佈特性並在針對國防部狙擊手競賽核心測項積極訓練同時，也能強化射手自身對「射擊精度」的要求。另藉由該理論合理地提出一個適用國軍野戰狙擊手作為精準射擊能力評估的新式標準，其目的在使射手於 100 公尺具備以貼近實戰射速射擊 5 發精度小於 1.65MOA 之能力，如此便可確保 600 公尺 R95 散佈圓能 100% 落入標準人形目標大小 (50 公分直徑圓) 內，可視為一位合格狙擊手應具備的最低要求門檻。各單位狙擊手仍應持續精進自身射擊能力，設法發揮「槍、鏡、彈」武器系統整合的極致，將射彈散佈大小控制在最小的可控制範圍內，則進一步追求更深奧的

科學彈道應用（彈道預測與射彈修正）才能獲得實質成效。如同射擊的一句至理名言：「先求精度、再求準度（Precision First, then Accuracy.）」。或者可以翻譯成「精度為準度之母」，無論何者，均能充分表達為何精度對狙擊手的重要性，而這也是為何作者願意花了這麼多的時間與篇幅深入探討這個議題的原因，希望對讀者能產生實質幫助。

惟須補充說明的是，雖然精度與準度兩者同等重要，但通常 **600 公尺以上** 遠距離射擊時，準度的好壞，往往才是使命中率產生明顯升降的主要原因。尤其當射擊目標越大、射程越遠，提高精度對命中率的助益便不再像近、中距離上射擊小型目標來的顯著。參考美國彈道學家 Bryan Litz 所著一書《Applied Ballistics for Long Range Shooting》第 321 頁指出：「以初速每秒 792 公尺射擊 .308 (175 格令) SMK 彈藥，即便其他因素都控制在很小的範圍內（測風誤差 1 哩、測距誤差 1 公尺、初速標準差每秒 10 英呎），將精度從 1.5MOA 精進至 1MOA，800 碼命中 IPSC 標準靶的機率僅提升約 2%（95% 提升至 97%）、1000 碼約 5%（77% 提升至 82%）；再從 1MOA 精進至 0.5MOA，800 碼約可再提升 2%（97% 至 99%）、1000 碼約 4%（82% 至 86%）。」

因此，狙擊手在追求 **100 公尺近距離精準射擊能力**的同時（本文重點），也不應忽視科學彈道應用的重要性（可參考作者於步兵季刊第 282 期所投稿之〈風力對狙擊槍遠距離精準射擊影響之研究〉一文及 283 期所投稿之〈以彈道學理論研究超遠距離精準射擊之奧秘〉或作者所著《狙擊彈道學》一書），務必精研並充分理解狙擊彈道學中的每一個實用知識與技術。倘若狙擊手能膽大心細、實事求是地加以活用，方能體會「精準並濟」的精神，最終達到「遠距命中」的實質境界。



圖二十 本文所介紹之「新式狙擊手精準射擊能力評估與鑑定」方法，已於民國 111 年起正式納入本部狙擊手訓練班期中、期末測驗考核項目之一。

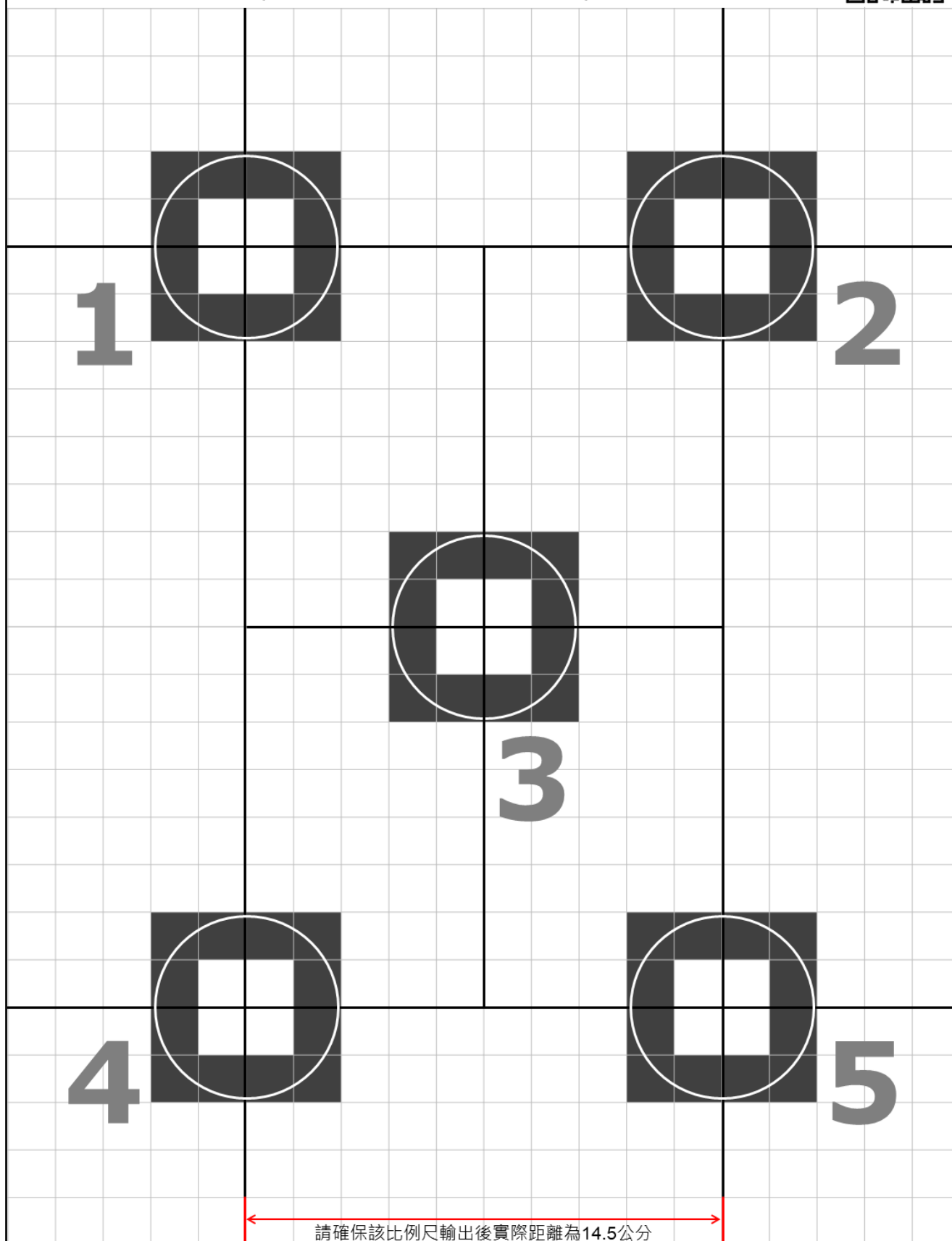
資料來源：作者自行攝影（2022 年 2 月 17 日及 3 月 16 日）

捌、附件—精準射擊能力評估專用靶紙

7.62公厘輕型狙擊槍100公尺精準射擊專用靶紙

歡迎掃描右方QR Code下載原始檔案並以A3大小輸出(1方格0.5MOA)

(陸軍步訓部少校教官郭晉愷設計)



參考文獻

1. 郭晉愷，《狙擊彈道學—第四版》(高雄市，陸軍步兵訓練指揮部，民國 111 年 7 月 12 日編印)。
2. 陸軍步兵訓練指揮部 譯，《102 年狙擊手機動協訓課程講義》(高雄市，陸軍步兵訓練指揮部，民國 102 年)。
3. 陸軍特指部狙擊連主編，《狙擊手冊》(桃園縣，陸軍特指部狙擊連，民國 106 年)。
4. 《TC-94-7.62 公厘狙擊彈測試資料》，(高雄市，軍備局第 205 兵工廠，民國 100 年)。
5. 陸軍官校機械系主編，《武器系統》(高雄市，陸軍官校機械系，民國 92 年)。
6. 郭正祥，《輕兵器設計技術手冊》(高雄市，聯勤第 205 廠，民國 75 年)。
7. 徐聲亮，《輕兵器彈藥設計技術手冊》(高雄市，聯勤第 205 廠，民國 75 年)。
8. TC 3-22.10, 《Sniper》(U.S.A., Headquarters Department of the Army, 2017)
9. Bryan Litz, 《Accuracy and Precision for Long Range Shooting》(U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2012)
10. Bryan Litz, 《Applied Ballistics for Long Range Shooting》(U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2015)
11. Bryan Litz, 《Modern Advancements in Long Range Shooting- Volume II》(U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2016)
12. Bryan Litz, 《Ballistic Performance of Rifle Bullet- 3rd Edition》(U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2017)