

# 風力對狙擊槍遠距離精準射擊之影響

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，現任職於陸軍步兵訓練指揮部戰術組教官。

## 提要

- 一、傳統的狙擊手著重在「精打細瞄」，以概略的經驗參數作為彈道修正依據；但現代狙擊手想要「遠距狙擊、首發命中」，強調的則是依據彈道理論數值的「精打細算」。
- 二、我國狙擊手因無法自行選擇彈種或調整初速，加上風具有「難以準確判讀風速與風向、難以準確判讀不同距離之風速與風向、風速與風向經常改變或突然出現陣風或無風」等特性，使風偏成為遠距離射擊影響彈著點之最大不確定因素。
- 三、狙擊小組如何累積風速與風向判讀的經驗，減少判斷誤差，做出較精確的風偏修正，是狙擊手與觀測手必須共同努力的課題，也是提高命中率最有效的方法之一。
- 四、當前彈道學研究發展，計算不同彈藥於各距離風偏值較精確的方法即稱為「學理風偏公式」，其必須取得「槍口初速與實際到達目標距離所需飛行時間」兩種參數，因將彈道係數與外在環境因素(空氣密度)納入考量，為相對科學之風偏計算方式，作為導入國軍狙擊手訓練之重要方法。
- 五、狙擊彈道理論涵蓋範圍甚廣且礙於文章篇幅，本文僅針對對外彈道影響最大的「風力」進行研究，期使讀者能立即感受到「科學化練兵」帶來的直接幫助，也試圖導正羈絆狙擊手多年，對於彈道研究「學而不用、用而不知」之困境。

關鍵詞：狙擊、遠距離射擊、精準射擊、彈道、風偏修正、風力

## 壹、前言

「狙擊手須將射擊環境中的常數確實掌握，而不可掌握之變數，則將之最小化」  
—戰術組資深狙擊教師備役上校石錫卿

國軍狙擊手競賽項目逐年精進調整難度，不再只重視射手靜態且單一之射擊技術，而是增加更多符合戰場環境與接戰情境的戰術要求，舉凡負重後不定距應急射擊、城鎮變換陣地射擊(如矮牆、孔洞、室內空間、懸吊、屋頂等運用)、濱海環境下不定距目標遮障射擊...等項目，其均可與實戰環境及彈道理論相互結合。然而可惜的是，國內相關著作及翻譯書籍不多，加上國內產學單位之實務經驗、專業教材對象受限，這方面資訊獲得實屬不易。導致目前國軍狙擊手在關於「彈道學」議題上的獨立思考能力不足，多僅知其然，而不知其所以然，更難以將其活用於與時俱進的競賽項目或未來真實戰場環境中。

傳統的狙擊手著重在「精打細瞄」，以概略的經驗參數作為彈道修正依據；但現代狙擊手想要「一擊必殺，首發命中」，強調的則是依據彈道理論數值的「精打細算」。

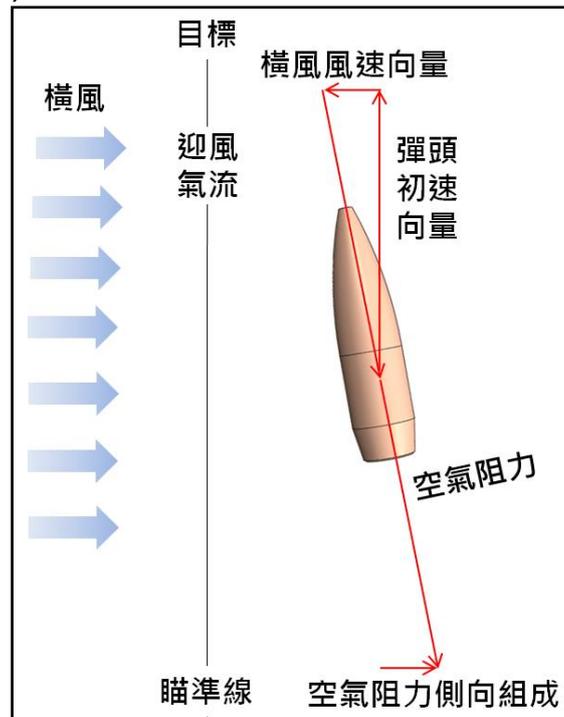
我國狙擊手在過去，常被窄化地認為是部隊中具備對「特定距離與目標」精準射擊能力的射手，事實上這只是基礎能力，更重要的是狙擊手是否具邏輯推理與演算能力，如此才具備培養成為一位能實施「中、遠距離」不定距精準射擊、合格狙擊手的潛力。而過程中所需的演算，講的正是「狙擊彈道」的應用。如何適時且準確判斷距離、風速與其他環境因素並做出必要調整，或針對當前射擊之戰術條件做出應變制變，進而讓手上的槍彈於中、遠距離上仍能發揮首發命中的最大效用，是擔任狙擊手共同的難題、也是極須正視的課題之一。

然而，由於狙擊彈道理論涵蓋範圍過廣，且經常伴隨複雜公式、數學與科學，加上彈道本身，一切發生的太快、無形勝過有形，讓人難以想像與捉摸，以致漸漸被狙擊手敬而遠之成為神秘科學。但終究，彈道是存在宇宙萬物中不變的物理定律，是一門錙銖必較的科學，即使狙擊手不瞭解而未考慮或刻意忽略計算外在環境對彈道的真實影響，這些因素仍將對狙擊手屏氣凝神扣下扳機後的每一顆子彈發揮不良作用。故本文就以對外彈道影響最甚之「風力」進行深度探討，試圖導正羈絆狙擊手多年，對彈道「學而不用、用而不知」之困境。

惟因國造T93K1狙擊槍與國造TC94狙擊彈部分彈道參數受限，為使本文能遂行各種風偏學理探討，主要數據均係透過美國彈藥製造商Hornady與槍械製造商Trasol等公司開發之彈道計算軟體，以及在全球測風儀具領銜地位的Kestrel公司，其生產之型號5700 Elite測風儀內建彈道計算功能等工具，搭配近似國造TC94狙擊彈參數後演算獲得，值供參考應用。

## 貳、風力對狙擊彈道之影響

一般人通常認為風偏是彈頭受風吹動橫向偏移產生。然而實際上，風偏之產生，是因子彈受橫風影響改變飛行航角(如同風向計箭頭指入風向原理：**The bullet weathervanes into the oncoming airflow.**)，加上彈底阻力沿著彈軸於重心後方拉動，故偏航角產生後，有助於加速彈尖偏離瞄準線(**Line of sight**)飛行，進而產生風偏。<sup>1</sup>(如圖一)



圖一 子彈受風力影響產生偏航角示意圖

資料來源：作者自行調製，參考 Bryan Litz, 《Applied Ballistics for Long Range Shooting》(U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2015), P77. (調製日期 2021 年 8 月 26 日)

風速越大、偏航角越大，風偏值也越大。在相同環境因素下，相同口徑彈藥，其彈道係數越低、<sup>2</sup>空氣阻力越大，彈速衰減越快，相同射程內飛行時間較長，受風影響較甚，風偏值因而較大。所以欲減少風對彈道的影響最直接的方法就是使用彈道係數較高的彈藥或提高原彈藥初速。然而大部分情況下，我國狙擊手無法自行選擇彈種或調整初速，加上風具有「難以準確判讀風速與風向、難以準確判讀不同距離的風速與風向、風速與風向經常改變或突然出現陣風或無風」特性，使風偏影響成為遠距離射擊影響彈著點改變最大的不確定因素。<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 美軍狙擊手訓練教範 TC 3-22.10，2017 年，附錄第 C-8 頁。

<sup>2</sup> 彈道係數(BC, Ballistic Coefficient)，為衡量彈頭所受到空氣阻力大小的係數，或指某特定彈頭其所能克服空氣阻力之能力，由彈重、截面密度、阻力係數三者計算而來。彈道係數高低不能全然代表彈藥之優劣，彈道係數越高相較低之彈頭，僅能說明其風阻較小，較能維持初速，以致初速與動能衰減較慢(相同距離上能有較高之殘餘速度與動能)，最重要的是彈道墜落值以及風偏修正值較小(即測距、測風誤差容許值較大)，適合進行遠距離精準射擊，而與侵徹力或殺傷效能無關。

<sup>3</sup> 關於狙擊距離定義，雖無文獻精確定義，然就常數而論，實可區分為：短距離(0-300 公尺)、中距離(300-600 公尺)、遠距離(600-1000 公尺)及超遠距離(1000 公尺含以上)。

所以狙擊小組如何累積風速與風向判讀的經驗，減少判斷誤差，做出較精確的風偏修正，是狙擊手與觀測手必須共同努力的課題，也是提高命中率最有效的方法。觀察美國步槍協會(NRA)年度舉辦的 2 英哩(3.2 公里)超遠程射擊競賽(KO2M, King of 2 Miles)，能更加深刻體會風偏修正的重要性。在這個早已超出現代精準彈藥的最大有效射擊距離上，除了考驗射手極高度穩定射擊能力外(最遠目標 3.08 公里，目標大小 121x152 公分，換算精度要求為 1.36MOA)，<sup>4</sup>相對地距離、風速與風向等環境因素對彈著的影響相當劇烈，只要些許誤差就能使彈著差之千里。故歷年競賽隊伍均採團隊合作方式，除射手本身必須具備優異的射擊水準外，更需仰賴彈道學家與風偏專家從旁提供適時且精確的修正。(如圖二)



圖二 由美國 Applied Ballistic 公司領軍的團隊獲得 2017 年 KO2M 競賽冠軍  
資料來源：Applied Ballistics 公司 YouTube 頻道影片〈Derek Rodgers King of 2 Miles Final Run 2017- 2 Mile Hit〉。(檢索日期 2017 年 7 月 15 日)

以美造 M24 狙擊槍射擊 M118LR 彈藥(175 格令)為例，依據美軍 1998 年 3 月彈藥諸元資料〈M118LR Specification Dates〉，其精度在 1000 碼為 1-1.4MOA，約 14 英吋(36 公分)範圍內。Lake City Army Ammunition Plant 則以固定槍架於 1000 碼測出 1.15MOA，約 12.09 吋(30.7 公分)之精度。在幾乎無風的環境或小於 1 哩風的判斷誤差下，1000 碼距離射擊 50 公分(20 吋)目標，由美國陸軍狙擊學校與陸戰隊狙擊學校測得之命中率分別高達 99.8%與 95.5%，<sup>5</sup>然而在 5 哩風的環境條件或判斷誤差下，500 碼即低於 90%、900 碼約 30%、1000 碼更低於 25%。<sup>6</sup>由此可見，風力對精準度與命中率的影響甚鉅。故狙擊手對於風速判斷若大於以下測風誤差容許值，將使國造 T93K1 狙擊槍於該射程

<sup>4</sup> MOA(Minute of Angle)，中文稱角分，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 碼所形成之夾角(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 2.9 公分寬，故當敘述某槍枝具 1 角分精度，即代表該槍枝於 100 公尺平均散佈面大小能小於 2.9 公分直徑圓。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。

<sup>5</sup> Maj. John L. Plaster, 《The Ultimate Sniper》(U.S.A., Paladin Press, 1993), P141-142.

<sup>6</sup> Bryan Litz, 《Accuracy and Precision for Long Range Shooting》, P36.

上產生超過 25 公分的水平偏差量，導致彈著偏離 50 公分寬之典型目標(平均人體肩寬)形成脫靶。故為確保各射程內均能保有最大命中率，狙擊手應設法控制測風誤差(或稱該彈藥之風速容許能力)，作者以 Kestrel 5700 內建 Elite Ballistics 彈道計算功能模擬近似 TC94 狙擊彈(平均初速每秒 808 公尺)之彈道參數，提供參考如下：

200 公尺，小於正負 25 哩風。

600 公尺，小於正負 2.5 哩風。

300 公尺，小於正負 11 哩風。

700 公尺，小於正負 1.8 哩風。

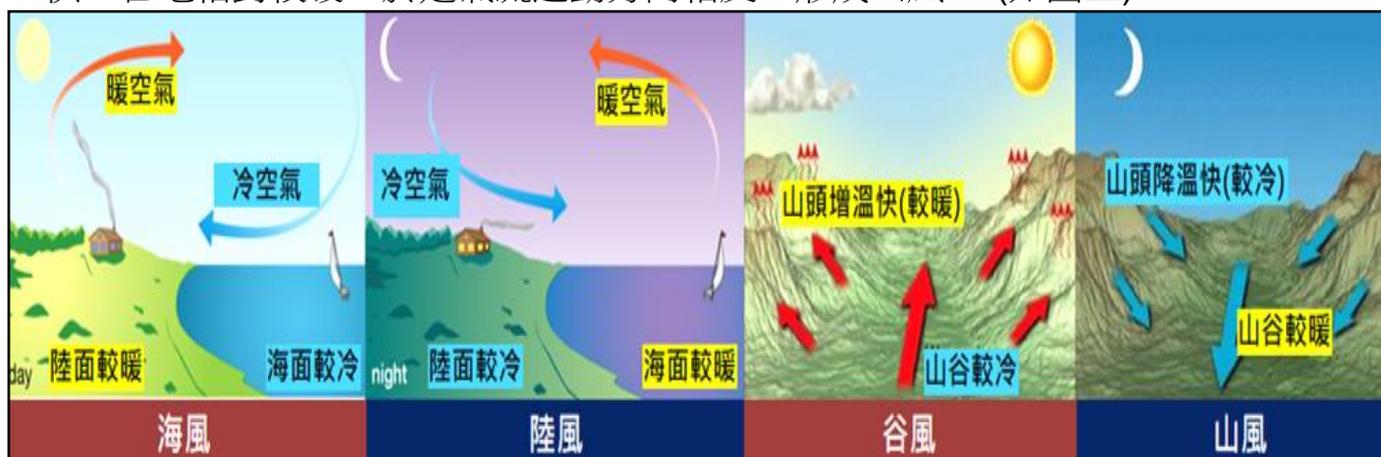
400 公尺，小於正負 6 哩風。

800 公尺，小於正負 1.2 哩風。

500 公尺，小於正負 3.8 哩風。

### 參、風速與風向判讀方法

狙擊手若能了解風的形成與空氣流動模式，有助於正確判讀局部風之風向。在氣象學定義中，風是因氣壓在水平方向的差異使空氣從高壓區流向低壓區而產生。而局部風的生成則來自於局部地區氣壓梯度差異產生的小尺度風或因地形作用或鄰近地區的地表成分不同使地表加熱不平均造成溫度與氣壓差異而產生。如海陸風，多發生在夏季的沿岸地區，因白天陸面加熱比鄰近的海面強烈許多，陸面上方空氣變熱、膨脹、上升，產生低壓區，海面上氣壓較高的冷空氣於是向陸面流動，形成海風。通常在中午前開始發展，下午至傍晚最甚。入夜後，情況剛好相反，此時陸面降溫比海面快，陸面較冷、海面較暖，風因此反向流動形成陸風。另山谷風亦有異曲同工之妙，白天時，山頭受陽光照射加熱較快產生低壓區，谷地氣壓較高的冷空氣於是向山頭移動形成谷風；入夜後，山頭降溫較快，谷地相對較暖，於是氣流運動方向相反，形成山風。<sup>7</sup>(如圖三)



圖三 風的形成與運動模式

資料來源：Military Strategy 與 Encyclopedia Britannica, Inc.(檢索日期 2021 年 7 月 19 日)。

<sup>7</sup> 范賢娟譯，Frederick K. Lutgens 著，《觀念地球科學-天氣》(台北市，遠見天下文化，民國 107 年 6 月)頁 6-7。

另外，即時動態氣象預報程式(如 Windy APP)亦能顯示全球各地局部風之平均風速與風向，惟預測週期以 3 小時為單位，且每日僅更新兩次(付費後能縮短預測週期與更新時間)。雖在適當操作下，經常能與實際風況相吻合，但仍建議狙擊手，僅能將其作為初步了解所在地區概略風況之輔助工具，實際風況之判讀，仍應以現地觀察、測量為主。(如圖四)



圖四 即時動態氣象預報程式(Windy)

資料來源：作者自行調製，底圖截自 Windy 應用程式之操作畫面。(2021 年 8 月 26 日)

為能進一步觀察所在地區即時風況並判讀出準確之風速與風向，一般常用方法有測風旗、測風儀、熱擾流與植物/環境觀察法與煙硝觀察法等，依序說明如後：

### 一、 測風旗(Wind Flag)

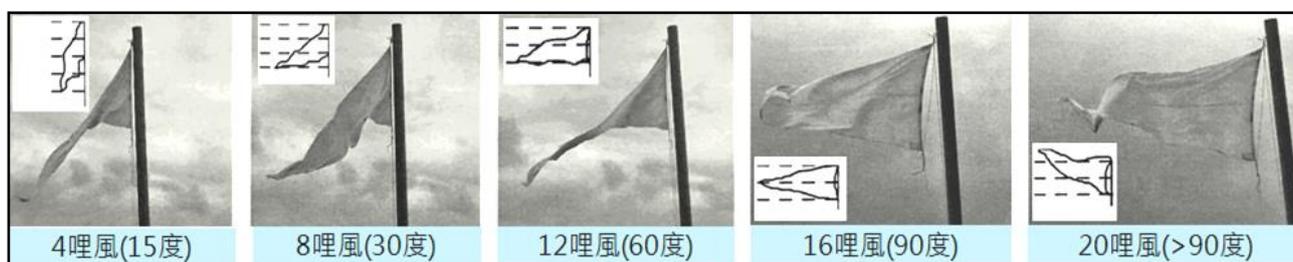
對於一般已知距離之射擊與遠距離射擊競賽，通常使用具標準大小與顏色的測風旗進行測風(形式、尺寸與材質，甚至濕度均會影響準確度)。然而，除非風向旗在靶場內各距離綿延佈置、自然界之植物於各距離內均有生長適合觀測風速與風向之種類，否則定距上之測風旗最多也只能局部且概略測得風速與風向，建議實際於測風旗下方以測風儀同步測得真實風速再發展角度

對照表並推算合適之常數，因應不同形式、尺寸、材質，絕非單一常數 4，如航空、建築用標準風筒(俗稱鯉魚旗)經實測常數如下：大於 50 度約 8-8.5、45 度為 9、小於 45 度適用 10。(如圖五)。此外，射擊用標準三角測風旗角度代表之風速，(如圖六)亦提供參考運用。



圖五 航空、建築用標準風筒與其對應風速示意圖

資料來源：作者自行調製，2020 年 9 月 3 日。



圖六 射擊用標準三角測風旗與其對應風速示意圖

資料來源：作者整理，參考 Linda K. Miller/Keith A. Cunningham，《The Wind Book for Rifle Shooter》，第 7 頁。(檢索日期 2021 年 7 月 19 日)

## 二、 測風儀(Weather Meter)

測風儀是狙擊手戰場上能最準確測得風速與風向的工具之一，但唯一缺點是僅能測得所在位置之風況(能以藍芽接收小型氣象站回傳參數的版本例外)。由於目前市售軍用測風儀一般均具備測量海拔高度、大氣壓力、溫度、溼度及密度高度等功能，Kestrel 5700 Elite 甚至內建 Applied Ballistics 彈道計算功能，是狙擊手裝備清單中不可或缺的一項工具。(如圖七)



圖七 測風儀是狙擊手裝備清單中不可或缺的一項工具

資料來源：www.kestrelballistics.com 網站。(檢索日期 2021 年 7 月 19 日)

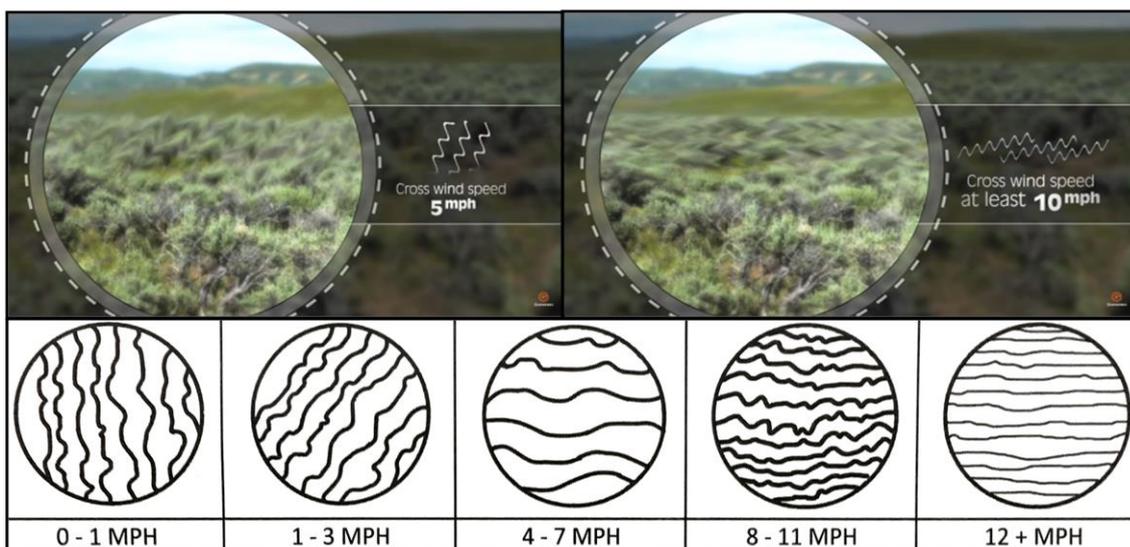
除了可藉此獲得準確之環境與彈道參數外，也是狙擊手能夠比對、判斷出目標區風速大小的一個重要指標。當要使用 **Kestrel** 測風儀測量風速時，至少須監測 **5-10** 秒，以獲得該時段內之平均風速及最大、最小風速，以作為合理參考。如欲測量風向，則依據美國陸軍 **2017** 年狙擊手訓練教範 **TC 3-22.10** 附件第 **C-10** 頁解釋，須注意：「不可將其簡單的指向能產生最大風速的方向來判斷，這是一般常見的錯誤；而應藉著指向能讓風扇完全靜止的方向來獲得。」此外，測風儀亦可當作初學者練習風速判讀的最佳工具，建議隨身攜帶，當任何時候發現有明顯風勢產生時，可先觀察周邊景物或以肌膚感受，預測可能之風速大小，再取出測風儀量取正確數值，初期誤差可能高達正負 **2-3** 哩風，但隨著大量練習誤差極可能控制在正負 **1** 哩風內(美國陸軍 **2017** 年狙擊手訓練教範 **TC 3-22.10** 中明訂合格狙擊手必須有小於 **2** 哩風速之判讀能力)。更進階者，可以兩人一組，一人於射擊區以肉眼、狙擊鏡或觀測鏡等各種輔助手段先判讀風速，另一人於目標區後以測風儀測量並透過無線電即時回報風速，反覆練習並比對造成判讀誤差之因素，無形中能有效精進狙擊手風速判讀之能力。

### 三、 熱擾流(Mirage)

熱擾流是指因地表上升之熱氣流(**Heat Wave**)或空氣層中存在不同密度與溫度變化而導致光線產生折射、使所觀看之景象如海市蜃樓般(即 **Mirage** 單字原意)的一種現象。<sup>8</sup>由於熱擾流影像容易受風影響而使流動方向、角度甚至波紋密度大小產生細微變化，故可藉由觀察熱擾流的狀況，概略判讀風速與風向，為一種相較實用的方法，各種擾動的波紋大小與角度所代表之風速如圖八所示。一般最適合在小於 **10** 哩風之環境條件下使用，但當風速大於 **12** 哩甚至 **15** 哩時，因熱擾流流動角度已完全平行地面，難以再判斷出任何差異而不適用。此外，也可以將熱擾流之流速與人類運動速度相比(或者與周邊人員移動速度相比)，流速看似(或符合)慢行者為 **2-3MPH**、看似(或符合)正常步行者為 **3-4MPH**、看似(或符合)慢跑者為 **7-8MPH**、看似(或符合)快跑者則為 **10-11MPH**，作為風速判讀之參考。

---

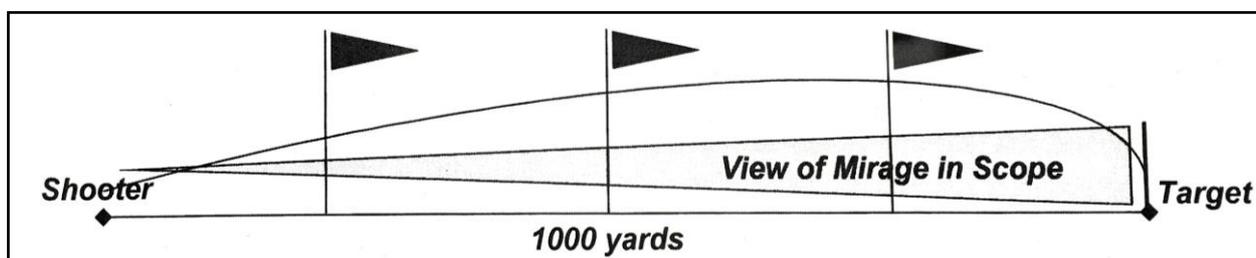
<sup>8</sup> Ryan M. Cleckner, 《Long Range Shooting Handbook》(U.S.A., North Shadow Press, 2016), P249.



圖八 熱擾流影像與各種風速示意圖

資料來源：作者整理，參考 Gunwerks 公司 YouTube 頻道影片〈Determining Wind Speed and Direction〉與 SightMark-Sniper Date Book，第 7 頁。(檢索日期 2021 年 7 月 19 日)

為了能進一步清楚觀測到熱擾流，一般建議使用 14 倍以上之觀測鏡或雙目望遠鏡(因倍率越高越容易在相對低溫的環境下觀獲熱擾流影像)。且觀測時，應將焦距調整螺逆時針旋轉約 1/16 至 1/8 轉，使焦距調整至目標或背景前方，此時目標將略微模糊(換言之，即聚焦在實際將影響彈道飛行的空間內)，當調整到熱擾流影像能最清楚觀測時，便可藉此判斷目標區前方空間內之概略風況。當時間充足，建議應按此要領額外觀測「近端處」之熱擾流差異，以因應不同風況，作出綜合判斷。須特別注意的是，由於觀測鏡倍率越高、視界越小，此時透過鏡內所觀測之熱擾流影像，將不能完全代表彈頭飛行全程所遭遇之風況。故當射程越遠、最大彈道越高，便越須適時觀察鏡外(特別是瞄準線上方)之熱擾流差異，適時予以調整或增加風偏響數。(如圖九)



圖九 遠距離射擊彈道(飛行軌跡)與鏡內熱擾流之關係圖

資料來源：Linda K. Miller/Keith A. Cunningham，〈The Wind Book for Rifle Shooter〉，第 6-7 頁。(檢索日期 2021 年 7 月 19 日)。

最後，若當狙擊手無法透過熱擾流變化敏銳判斷風速差異時，建議將熱擾流作為判斷風向之輔助手段之一，以免弄巧成拙導致風速判讀誤差過大，影響命中率。美國知名風偏專家 Emil Praslick III 於受訪時及美國陸軍 2017 年狙擊

手訓練教範(TC 3-22.10)附件第 C-11 頁均曾提及一個判斷局部風風向的實用技巧：「可原地轉動觀測鏡觀察熱擾流流動之方向，直到熱擾流呈現垂直流動時(Boil)，則此時觀測鏡前方延伸之虛線即代表風向角度。」提供參考運用。

#### 四、植物/環境觀察法(Plant Life/Observation of Natural Objects)

擅長遠距離射擊的獵人或軍方狙擊手通常藉由自然環境中之花草樹木等植物進行測風，特別是當目標周邊剛好有獨立明顯的植物或適合觀察風速之景物時，此觀察法能彌補測風儀或熱擾流之不足。然而，前提是狙擊手必須熟知各種不同風速下特定植物或景物所對應之狀態。故建議以測風儀大量練習紀錄，調製适合自己之風速對照表，(如表一)為作者參考曾獲多項國際射擊比賽冠軍 Linda K. Miller 與具 25 年遠距離射擊教練美軍備役上尉 Keith A. Cunningham 所合著之《The Wind Book for Rifle Shooter》與美國陸軍特種狙擊野戰教範(FM3-05.222)等書內容後重新調製，提供讀者參考運用。

表一 風速對照表-植物/環境觀察法

原文術語	風速(MPH)	植物/環境觀察狀態	圖示
	0-1	平靜近似無風，白煙裊裊升起	
	1-3	臉上似乎感覺到輕柔微風，白煙緩慢飄動	
Gentle	4	臉上可感覺到微風吹拂，小草、樹葉開始晃動	
Moderate	8	感覺明顯陣風，樹葉、細枝、長草持續搖晃	
Fresh	12	較強陣風吹拂，小枝幹開始搖晃 紙張、塵土隨風捲起	
Strong	16	強勁陣風吹拂，小樹開始搖晃	
Very Strong	20	超強陣風吹拂，大樹開始搖晃，水面出現波紋	

資料來源：作者整理，參考 Linda K. Miller/Keith A. Cunningham，《The Wind Book for Rifle Shooter》，第 6-7 頁及美軍特種狙擊野戰教範(FM3-05.222)第 3-62 頁。(檢索日期：2021 年 7 月 19 日)

#### 五、硝煙觀察法(Smoke Method)

狙擊手可藉由觀察戰場上常見之煙硝飄散角度與方向作為風速與風向判讀之指標，惟測量時須量取 90 度垂直線至煙硝上端之夾角，以維客觀。依據美國陸軍 2017 年狙擊手訓練教範(TC 3-22.10)附件第 C-14 頁資料指出：「當夾角小於 45 度時，風速約小於 4 哩、等於 45 度時，風速約 5-10 哩、接近平行地面時，風速約 11-20 哩。」(如圖十)



圖十 煙硝飄散角度示意圖

資料來源：作者自行調製，參考 <http://www.unep.org/news-and-stories/story/fog-war> 及美軍狙擊手訓練教範(TC 3-22.10)第 C-14 頁（檢索日期：2021 年 7 月 19 日）。

## 肆、風偏修正方法

### 一、傳統風偏公式(Conventional Wind Deflection Formula)

在測量或觀察得知風速後，可由傳統風偏公式求得以 MOA 為單位之風偏修正值。而傳統風偏公式計算方式為：距離(百公尺)乘以風速(哩/每小時, MPH)後，再除以一個距離常數(Range Constant)。其中，距離與風速皆可由狙擊手以各種方法與手段實際測得，而距離常數則為考量該彈藥實際產生風偏值大小，經換算與簡化後之經驗數值。(如圖十一)

美軍之所以選用 M118LR 彈藥作為 M24 狙擊槍制式彈藥除了高精度與穩定的彈道表現外，更重要的原因是美軍發現 M118LR 狙擊彈在學理上，以初速每秒 2650 英呎(每秒 807 公尺)發射時，1000 公尺內各距離內距離常數均近似於“10”。<sup>9</sup>就實戰考量，該常數確實能有利於射手以心算計算修正值(如 600 公尺，8 哩風，幾乎不須思考即能得知修正值為 4.8MOA)，但 M24 狙擊槍搭配 M118LR 狙擊彈在有效射程內，距離常數均概為 10 係彈道學中少有的例外。事實上，不同彈藥在不同距離上本應有不同之距離常數，如將 M118LR 狙擊彈初速降低為每秒 2580 英呎(每秒 786 公尺)時，距離常數於 100-300 公尺仍為 10，但 400-700 公尺便降低為 9，800-1000 公尺則需改用 8。<sup>10</sup>另作為人員殺傷用途的北約 7.62 公厘 M80 普通彈(同我國 7.62 公厘機槍彈)，其槍口初速約每秒 2750 英呎(每秒 840 公尺)，彈頭重量僅 147 格令，因彈道表現與 M118LR 狙擊彈截然不同，故距離常數也完全不同。如在 100-500 公尺為 15，600 公尺為 14，700-800 公尺為 13，900 公尺為 12，1000 公尺為 11。

<sup>9</sup> Anthony Cirincione II, 《Long Range Precision Rifle》(U.S.A., Paladin Press, 2013), P72.

FM 3-05.222, 《Special Forces Sniper Training and Equipment》(Headquarters Department of the Army, 2003),P3-63.

<sup>10</sup> Michael Haugen, 《Modular Sniper Data Book》(U.S. Tactical Supply, Inc., 2004), PS-255-J.

如此，傳統風偏公式的計算就會變得既複雜又費時，且因常數通常以每百公尺為一間格(甚至存在無法套用距離常數的模糊空間)，故即便距離常數正確，所計算獲得之風偏值也難以完全精確。我國目前國造 TC94 狙擊彈所使用之距離常數完全與 M80 普通彈相同，研判應為早年準則編定時引用資料錯誤而沿用至今。<sup>11</sup>然而，錯誤的距離常數加上傳統公式本身計算費時，導致狙擊手難以活用甚至學而不用之處境、更衍生過度倚賴大量射擊蒐集經驗參數之訓練偏失。

**傳統風偏公式**

$$\text{MOA 風偏修正值} = \frac{\text{距離(百公尺)} \times \text{風速(哩/每小時, MPH)}}{\text{距離常數}}$$

圖十一 傳統風偏公式

資料來源：作者自行調製，2021 年 7 月 19 日。

## 二、學理風偏公式(Theoretical Wind Deflection Formula)

縱觀當前彈道學研究發展，計算不同彈藥於各距離風偏值較精確的方法為學理風偏公式。(如圖十二)其必須取得「槍口初速與實際到達目標距離所需飛行時間」兩種參數，並計算該彈頭在實際空氣中與真空假設條件下，飛行到達該特定距離所需之時間差(Lag Time)，最後再將風速(以每秒公尺為單位)乘以該時間差，即可獲得符合學理之風偏值(單位：公尺)。<sup>12</sup>由於實際到達各距離所需飛行時間受槍口初速高低影響，而飛行時間差多寡又與彈速衰減速率相關，且由彈道係數與外在環境因素(空氣密度)所主宰，故為一考量周密且實際衡量彈藥能力、彈道特性與環境因素之風偏計算方式，亦為本文欲導入國軍狙擊手訓練之實用風偏修正方法。

<sup>11</sup> 經查證，美軍雖於 1988 年即採用 M24 狙擊槍，然其於 1989、1992、1994 甚至 2012 年出版之相關準則內，仍充斥以 M80 普通彈數據作為 M118LR 狙擊彈距離常數或傳統風偏公式提供 M80 普通彈之距離常數，附件之風偏對照表經逆向換算卻是 M118LR 狙擊彈距離常數「10」...等混亂現象，直至 2017 年美國陸軍推出最新狙擊手訓練教範(TC 3-22.10)才全面改用 Kestrel 彈道計算方法教導狙擊手如何求得正確風偏修正值並輸出風偏對照表，另教導當戰場上無科學儀器或紙本對照表可供使用時，如何運用符合科學之簡化風偏公式(Short Wind Formula)實施應急計算。

<sup>12</sup> 資料來源：Fredrik C. Jonsson, 《Maritime Sniper Manual》(Paladin Press, 2010), P15.

### 學理風偏公式

學理風偏量(公尺)=

風速(公尺/秒)X(飛行秒數-真空飛行秒數)X風向係數

註：1MPH=0.447M/S

圖十二 學理風偏公式

資料來源：作者自行調製，參考 Fredrik C. Jonsson 所著《Maritime Sniper Manual》，(檢索日期：2021 年 7 月 19 日)。

另由公式可知，在使用相同口徑彈藥前提下，如能提高槍口初速以減少實際到達各距離所需飛行時間、提高彈道係數或者位於高海拔(低空氣密度)之環境條件下射擊，使彈速衰減幅度小，則能有效縮小飛行時間差，亦即代表相同風速影響下，其風偏修正值將較小。(如表二)即依照此方法，以近似國造 TC94 狙擊彈之模擬彈道(平均初速每秒 808 公尺)，搭配適我國標準環境(密度高度 750 公尺)之射表輸出條件，透過 Kestrel 5700 內建 Elite Ballistics 彈道計算功能調製而成之風偏對照表，提供參考運用。

表二 國造 T93K1 狙擊槍特定距離風偏對照表

修正值 距離(公尺)	國造 TC94 狙擊彈：實測平均初速 2650fps(808m/s)、10MPH 橫風(4.47m/s)						
	飛行 秒數	真空 飛行秒數	飛行 時間差	10 哩風偏 值(公分)	10 哩風偏 值(MOA)	10 哩風偏 值(響數)	10 哩風偏 值(米位)
<b>200</b>	0.267	0.248	0.019	8.5	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>0.4</b>
250	0.340	0.309	0.031	13.9	1.9	3.8	0.6
<b>300</b>	0.417	0.371	0.046	20.6	<b>2.4</b>	<b>4.8</b>	<b>0.7</b>
350	0.496	0.433	0.063	28.2	2.8	5.6	0.8
<b>400</b>	0.579	0.495	0.084	37.5	<b>3.2</b>	<b>6.4</b>	<b>0.9</b>
450	0.665	0.557	0.108	48.3	3.7	7.4	1.1
<b>500</b>	0.756	0.619	0.137	61.2	4.2	<b>8.4</b>	<b>1.2</b>
550	0.850	0.681	0.169	75.5	4.7	9.4	1.4
<b>600</b>	0.949	0.743	0.206	92.1	<b>5.3</b>	<b>10.6</b>	<b>1.5</b>
625	1.000	0.774	0.226	101.0	5.6	11.2	1.6
650	1.052	0.804	0.248	110.9	5.9	11.8	1.7
675	1.106	0.835	0.271	121.1	6.2	12.4	1.8
<b>700</b>	1.161	0.866	0.295	131.9	<b>6.5</b>	<b>13</b>	<b>1.9</b>
725	1.217	0.897	0.32	143.0	6.8	13.6	2
750	1.275	0.928	0.347	155.1	7.1	14.2	2.1
775	1.334	0.959	0.375	167.6	7.5	15	2.2
<b>800</b>	1.394	0.99	0.404	180.6	<b>7.8</b>	<b>15.6</b>	<b>2.3</b>

資料來源：作者自行調製，2021 年 7 月 19 日。

### 三、10 哩風換算基準表(10-MPH Wind Conversion Table)

在參考美國陸軍特種狙擊野戰教範(FM3-05.222)及風偏、遠距離射擊等專業書籍後，發現狙擊手或專業射手一般會先將子彈在各距離上受 10 哩全值橫風影響下所需調整的 MOA 或米位風偏值列出，並搭配右偏流修正量(Spin Drift)，製成 10 哩風換算基準表(10-MPH Wind Conversion Table)。<sup>13</sup>通常透過彈道計算軟體計算獲得(而彈道軟體背後的演算方法即為學理風偏公式)，且多以每百公尺射程為間格，但仍可視需求縮小間格大小，(如表三)為作者自行調製之國造 T93K1 狙擊槍 10 哩風換算基準表，即因提高命中率考量，600 公尺前，以每 50 公尺為一間格，600 公尺後，以每 25 公尺為一間格，提供詳細運用。使用方式說明如下：以射擊 600 公尺目標為例，可得知 10 哩全值橫風將可使彈著點向右或向左偏移 5.3MOA(即須調整 10.6 響或應急修正改變瞄準點 1.5 米位)。此時，如實際判斷之風速僅為 4 哩全值橫風，則將修正值(10.6 響或 1.5 米位)直接乘以 0.4，得到 4 哩風環境下所須調整之修正量(4.2 響或 0.6 米位)。因學理風偏公式為「單純乘法」之算式，故無論以 10 哩風偏值為基準，依實際風速比例進行風偏值換算，或者先將 10 哩風偏值乘以風向修正係數再換算風速大小...等不同之計算步驟，均不影響風偏修正值之結果。

---

<sup>13</sup> Ryan M. Cleckner, 《Long Range Shooting Handbook》(U.S.A., North Shadow Press, 2016), P252.

表三 國造 T93K1 狙擊槍 10 哩全值風換算基準表

國造 T 9 3 K 1 狙擊槍 10 哩全值風換算基準表								
彈道輸入參數								
彈徑：0.308 英吋 彈重：175 格令 G7 彈道係數：0.243 平均初速：每秒 808 公尺 纏度：每轉 11.22 英吋								
海拔高度：100 公尺 溫度：攝氏 29 度 相對濕度：80% 大氣壓力：1012hPa 密度高度：750 公尺								
風速：10MPH 緯度：北緯 23.4 射向：135 度								
距離 (公尺)	風偏值 (公分)	風偏值 (MOA)	風偏值 (響數)	風偏值 (米位)	合併右偏 值(公分)	合併右偏 值(MOA)	合併右偏 值(響數)	合併右偏 值(米位)
200	9	1.6	3.2	0.5	0.5	0.1	0.2	0.03
250	14	1.9	3.8	0.6	1	0.1	0.2	0.04
300	20	2.3	4.6	0.7	1.7	0.2	0.4	0.06
350	28	2.7	5.4	0.8	2.5	0.2	0.4	0.07
400	38	3.3	6.6	1.0	3.6	0.3	0.6	0.09
450	49	3.7	7.4	1.1	4.8	0.4	0.8	0.11
500	61	4.2	8.4	1.2	6.3	0.4	0.8	0.13
550	76	4.8	9.6	1.4	8	0.5	1	0.14
600	92	5.3	10.6	1.5	10	0.6	1.2	0.17
625	101	5.6	11.2	1.6	11.1	0.6	1.2	0.18
650	111	5.9	11.8	1.7	12.3	0.7	1.4	0.19
675	121	6.2	12.4	1.8	13.5	0.7	1.4	0.2
700	131	6.5	13	1.9	15	0.7	1.4	0.21
725	143	6.8	13.6	2.0	16.4	0.8	1.6	0.23
750	155	7.1	14.2	2.1	18	0.8	1.6	0.24
775	167	7.4	14.8	2.1	19.6	0.9	1.8	0.25
800	180	7.8	15.6	2.3	21.4	0.9	1.8	0.27
825	195	8.2	16.4	2.4	23.3	1.0	2	0.28
850	209	8.5	17	2.5	25.3	1.0	2	0.3
875	225	8.9	17.8	2.6	27.5	1.1	2.2	0.31
900	241	9.2	18.4	2.7	30	1.1	2.2	0.33
925	258	9.6	19.2	2.8	32.2	1.2	2.4	0.35
950	276	10.0	20	2.9	34.7	1.3	2.6	0.37
975	295	10.4	20.8	3.0	37.4	1.3	2.6	0.38
1000	314	10.8	21.6	3.1	40.2	1.4	2.8	0.4

■本表使用說明：

- 1.計算公式：  
(射程對應 10 哩風偏值 x 風速倍率 x 風向修正係數) +或- 合併右偏值=修正響數或米位。
- 2.合併右偏值係指各距離內因彈頭右旋產生之右偏移與北緯 23.4 度之科氏力之水平影響(無論射向均產生右偏移)，故將兩者合併以利快速、準確修正風偏。
- 3.遇環境因素劇烈改變或移動目標造成之水平偏移量，須另外計算。
- 4.本表係針對國造 T93K1 狙擊槍與 1/2MOA 調整量狙擊鏡之教學、訓練目的設計，各單位不同槍種、彈藥與環境須另外調製，切勿混用。

資料來源：作者自行調製，2021 年 9 月 15 日。

#### 四、新距離常數(New Range Constant)

而依據表二、表三之風偏科學計算結果，可逆向推算傳統風偏公式中真正符合國造 TC94 狙擊彈彈道特性之距離常數，(如表四)。狙擊手務須熟記，以備在無風偏對照表可查詢時之緊急情況下使用。

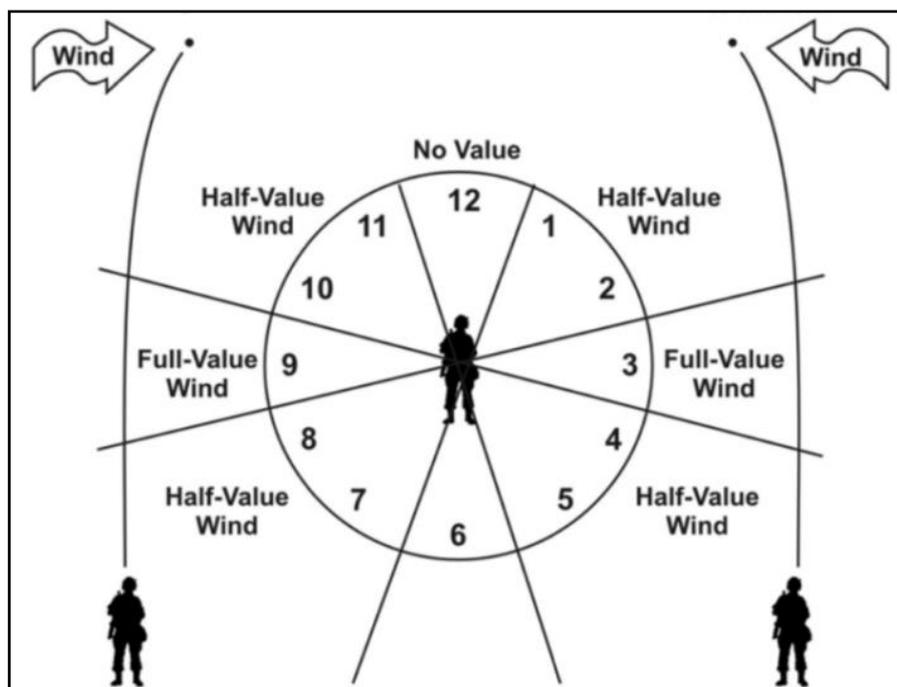
表四 國造 TC94 狙擊彈風偏修正-新距離常數表

原廠平均初速 2550fps(778m/s)		實際平均初速 2650fps(808m/s)	
射程	新距離常數	射程	新距離常數
100-600 公尺	<b>10</b>	100-400 公尺	<b>13</b>
600-800 公尺	<b>9</b>	400-600 公尺	<b>12</b>
800-900 公尺	<b>8.5</b>	600-750 公尺	<b>11</b>
900-1000 公尺	<b>8</b>	750-1000 公尺	<b>10</b>

資料來源：作者自行調製，2021 年 7 月 19 日。

### 五、新風向修正係數(Wind Direction Factor)

由於不同風向對風偏程度的影響不同，狙擊手除了必須盡可能判讀風速大小外，還需要考量風向修正係數之問題。參閱國內外狙擊手訓練準則，可發現均採用簡化之鐘錶法，即將 3、9 點鐘視為全值風(風偏值乘以 1)，6、12 點鐘視為不修正(風偏值乘以 0)，其餘 1-2、4-5、7-8、10-11 皆可視為半值風(風偏值乘以 0.5)。(如圖十三)



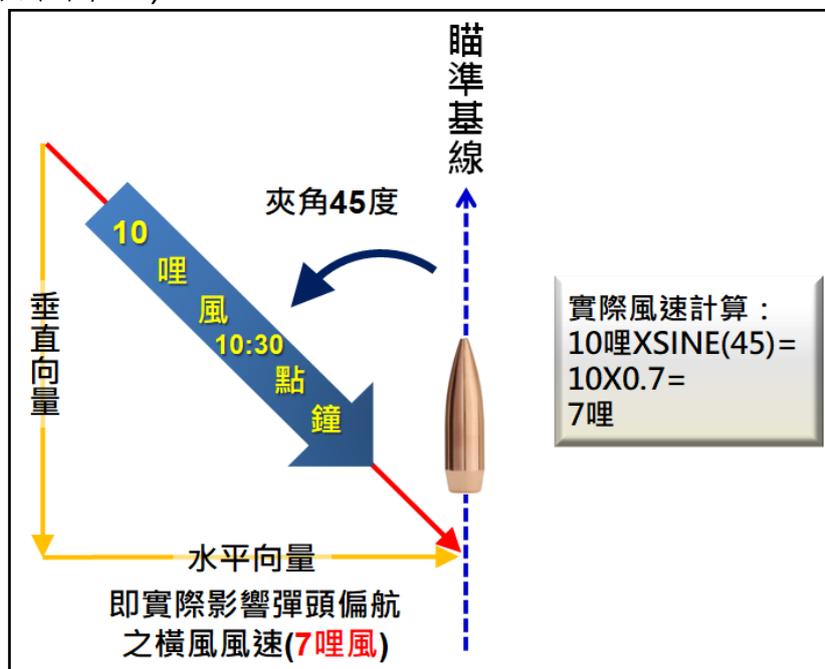
圖十三 傳統簡化之風向修正係數(鐘錶法)

資料來源：美國陸軍特種狙擊野戰教範(FM3-05.222)，第 3-60 頁。(檢索日期：2021 年 7 月 19 日)

然而，鐘錶法之常數為經簡化以便於狙擊手實施野戰計算之經驗值，在距離近與風速小之條件下確實可行，但一當射程增遠、風速升高時，將無法支撐狙擊手勝任中、遠距離精準射擊之角色。原因在於鐘錶法之常數與學理上不同風向對風偏之真實影響存有落差(而此差異即是美國知名風偏專家 Emil Praslick III 口中超遠程射擊之奧秘)。我們都知道 3、9 點鐘的風必須全修正，因為風向與瞄準基線完全垂直形成橫風，對彈頭偏航必然有最大的影響；6、

12 點鐘的風不修正，因為風向與瞄準基線平行形成順/逆風，對彈頭偏航的影響為零。然而，真實情況是我們很少會遇到完全垂直於或平行於瞄準基線的風向，當風向與瞄準基線存在夾角時，必須以合力概念將該股風力分解成垂直向量與水平向量兩股分力，此時垂直向量上該股分力因與瞄準基線平行故對彈頭偏航幾乎沒有影響；僅剩水平向量上該股分力因與瞄準基線垂直，等於實際影響彈頭偏航之橫風風速，故將風向與瞄準基線之夾角帶入三角函數 **SINE** 即可換算水平向量上之橫風風速(**Cross Wind Component**)。<sup>14</sup> (如圖十四) 為例，該 10 哩風之風向為 10:30 點鐘(即與瞄準基線存在 45 度夾角)，以該角度帶入三角函數 **SINE**，可得知風向修正係數為 0.7，再將 10 哩風乘以 0.7，即可得知實際影響彈頭偏航之橫風風速為 7 哩，故最後以 7 哩風查詢風偏對照表或帶回傳統風偏公式計算所得到之風偏修正值，將能符合科學與實際風偏修正所需。比較與鐘錶法之差異，以上表三：「國造 T93K1 狙擊槍 10 哩風換算基準表」為例，600 公尺相差 18 公分、800 公尺相差 36 公分。

常用風向修正係數如下：夾角 90 度為 1(全修正)、75 度為 0.97、60 度為 0.87、45 度為 0.70、30 度為 0.50、15 度為 0.26、0 度為 0(不修正)，<sup>15</sup>狙擊手務須熟記並運用。特別的是，美軍亦已於 2017 年時將狙擊手使用多年之鐘錶法修改成符合科學之真實風向修正係數，並編寫進 TC 3-22.10 狙擊手訓練教範內。<sup>16</sup>(如圖十五)

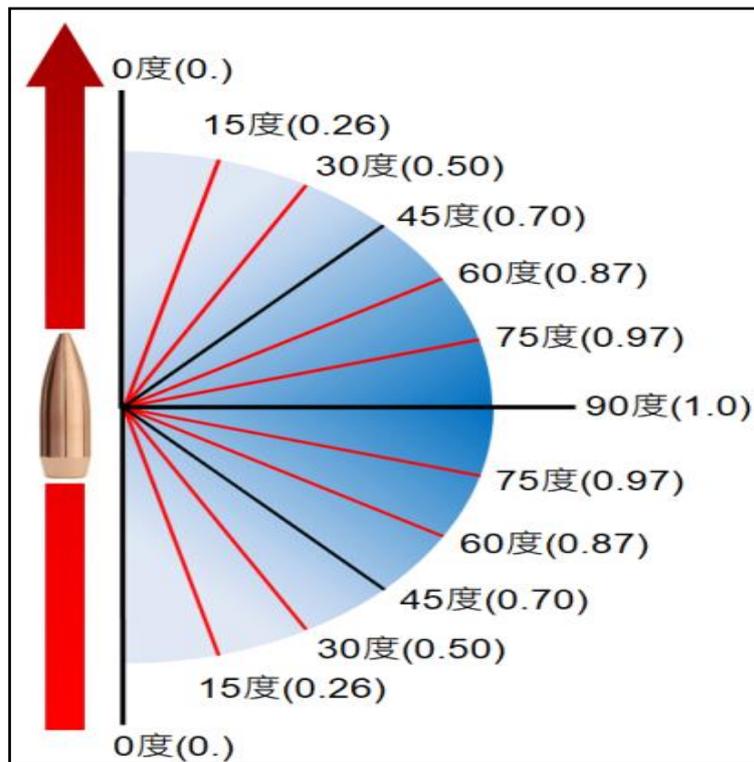


圖十四 實際風速水平向量計算示意圖  
資料來源：作者自行調製，2021 年 7 月 19 日。

<sup>14</sup> Bryan Litz, 《Applied Ballistics for Long-Range Shooting》, P62-63.

<sup>15</sup> Fredrik C. Jonsson, 《Maritime Sniper Manual》(Paladin Press, 2010), P15-16.

<sup>16</sup> 美軍狙擊手訓練教範 TC 3-22.10 附錄 C(2017 年)。



圖十五 符合科學之風向修正係數

資料來源：作者自行調製，2021年7月19日。

由於風速與風向對風偏修正值計算結果影響均甚大，故狙擊手除了應設法控制測風誤差外，更務必使用真正符合不同風向對彈道產生真實影響之風向修正係數進行風速換算，最後求得之風偏修正值，將較傳統方法精確，進而提高中、遠距離之首發命中率。<sup>17</sup>(如表五)

<sup>17</sup> 資料來源：Maj. John L. Plaster, 《The Ultimate Sniper》(U.S.A., Paladin Press, 1993), P351.

表五 濱海狙擊 5-20 哩風偏修正對照表

濱海狙擊5-20哩風偏修正對照表(適用國造T93K1狙擊槍及美造M24狙擊槍)														
陸軍步兵訓練指揮部少校教官郭晉愷1090903調製														
射程 (距離公尺)	5哩-響數 (MOA*2)		7.5哩-響數 (MOA*2)		10哩-響數 (MOA*2)		12.5哩-響數 (MOA*2)		15哩-響數 (MOA*2)		17.5哩-響數 (MOA*2)		20哩-響數 (MOA*2)	
	↔ 90°	↘ 45°	↔ 90°	↘ 45°	↔ 90°	↘ 45°	↔ 90°	↘ 45°	↔ 90°	↘ 45°	↔ 90°	↘ 45°	↔ 90°	↘ 45°
	↙ 67.5°	↘ 22.5°	↙ 67.5°	↘ 22.5°	↙ 67.5°	↘ 22.5°	↙ 67.5°	↘ 22.5°	↙ 67.5°	↘ 22.5°	↙ 67.5°	↘ 22.5°	↙ 67.5°	↘ 22.5°
300公尺	3	2	4	3	5	4	7	5	8	6	10	7	11	8
	3	1	4	2	5	2	6	3	8	3	9	4	10	4
350公尺	3	2	5	4	7	5	8	6	10	7	11	8	13	9
	3	1	5	2	6	3	8	3	9	4	11	4	12	5
400公尺	4	3	6	4	8	5	9	7	11	8	13	9	15	11
	4	2	5	2	7	3	9	4	11	4	12	5	14	6
450公尺	4	3	7	5	9	6	11	8	13	9	15	11	17	12
	4	2	6	3	8	3	10	4	12	5	14	6	16	7
500公尺	5	4	7	5	10	7	12	9	15	10	17	12	20	14
	5	2	7	3	9	4	11	5	14	6	16	7	18	8
550公尺	6	4	8	6	11	8	14	10	17	12	19	14	22	16
	5	2	8	3	10	4	13	5	16	7	18	8	21	9
600公尺	6	4	9	7	12	9	16	11	19	13	22	15	25	18
	6	2	9	4	12	5	14	6	17	7	20	8	23	10
射程 (距離公尺)	5哩-米位		7.5哩-米位		10哩-米位		12.5哩-米位		15哩-米位		17.5哩-米位		20哩-米位	
	↔ 90°	↘ 45°	↔ 90°	↘ 45°	↔ 90°	↘ 45°	↔ 90°	↘ 45°	↔ 90°	↘ 45°	↔ 90°	↘ 45°	↔ 90°	↘ 45°
	↙ 67.5°	↘ 22.5°	↙ 67.5°	↘ 22.5°	↙ 67.5°	↘ 22.5°	↙ 67.5°	↘ 22.5°	↙ 67.5°	↘ 22.5°	↙ 67.5°	↘ 22.5°	↙ 67.5°	↘ 22.5°
300公尺	0.5	0.25	0.5	0.5	0.75	0.5	1	0.75	1.25	0.75	1.5	1	1.5	1
	0.5	0	0.5	0.25	0.75	0.25	1	0.5	1	0.5	1.25	0.5	1.5	0.5
350公尺	0.5	0.25	0.75	0.5	1	0.75	1.25	0.75	1.5	1	1.75	1.25	2	1.25
	0.5	0.25	0.75	0.25	1	0.5	1	0.5	1.25	0.5	1.5	0.5	1.75	0.75
400公尺	0.5	0.5	0.75	0.5	1	1	1.5	1	1.5	1.25	2	1.25	2.25	1.5
	0.5	0.25	0.75	0.25	1	0.5	1.25	0.5	1.5	0.5	1.75	0.75	2	0.75
450公尺	0.5	0.5	1	0.75	1.25	1	1.5	1	2	1.25	2.25	1.5	2.5	1.75
	0.5	0.25	1	0.5	1.25	0.5	1.5	0.5	1.75	0.75	2	0.75	2.25	1
500公尺	0.75	0.5	1	0.75	1.5	1	1.75	1.25	2	1.5	2.5	1.75	2.75	2
	0.75	0.25	1	0.5	1.25	0.5	1.5	0.75	2	0.75	2.25	1	2.5	1
550公尺	0.75	0.5	1.25	1	1.5	1	2	1.5	2.5	1.75	2.75	2	3.25	2.25
	0.75	0.25	1	0.5	1.5	0.5	2	0.75	2.25	1	2.5	1	3	1.25
600公尺	1	0.5	1.25	1	1.75	1.25	2.25	1.5	2.75	2	3	2.25	3.5	2.75
	0.75	0.25	1.25	0.5	1.75	0.75	2	1	2.5	1	3	1.25	3.25	1.5

資料來源：作者自行調製，2021年7月19日。

上表五為作者針對濱海環境特別設計之風偏修正對照表，完全依照上述之科學方法調製而成，能滿足濱海環境風速與風向多變之特性，提供參考運用。

## 伍、進階風偏修正

### 一、風速梯度考量

風速因受地表摩擦力(Friction)影響而呈現風速梯度狀態(Wind Gradient)，通常越靠近地表的風越容易受地面之地物與植被等干擾導致風速較上層風慢。(如圖十六)



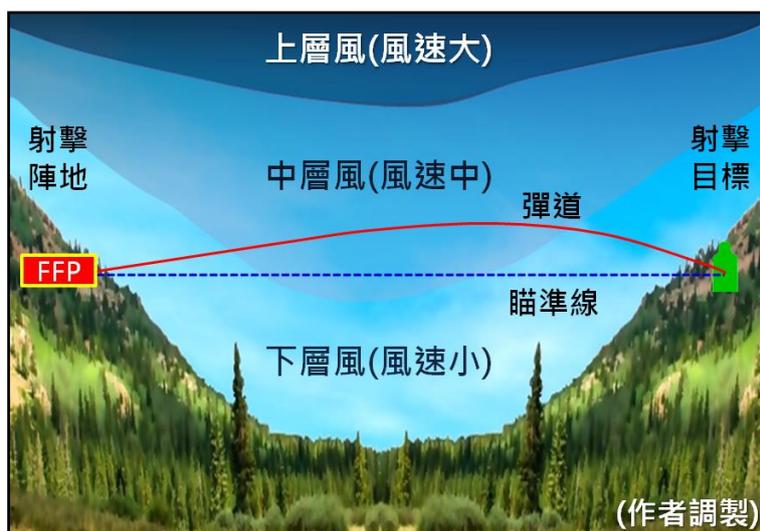
圖十六 風速梯度示意圖—通常距離地面越高、空氣流動速度越快

資料來源：作者自行調製，參考 SightMark-Sniper Date Book，第 5 頁。(調製日期：2021 年 8 月 26 日)

以 10-20 呎(約 3-6 公尺)風層高度為例，其上層風速約為下層風速之 1.5-2 倍。故一般 600-800 公尺射擊時，因彈道所涵蓋的風層高度通常小於 3 公尺，<sup>18</sup>狙擊手不宜聚焦在觀測過高的植物狀態上，以 4.5 公尺高的大樹為例，若其上方樹葉、細枝持續搖晃，可合理判斷風速應約為 8 哩，然而其下方目標之實際風速可能僅約 3-5 哩，此時狙擊手若以樹木上方風速實施風偏修正，將可能高估風速，使射彈無法有效命中。另當實施 800-1000 公尺或超遠程(1000 公尺以上)射擊時，因彈道飛行所涵蓋的高度落差較大(通常大於 3 公尺或 5 公尺)，此時狙擊手若以地表風速實施風偏修正，將可能低估風速，使射彈無法有效命中。上述兩例，雖無法實質量化，但足以凸顯狙擊手須將風速梯度納入考量的重要性。

或者當狙擊手從山谷地形之一側向另一側射擊時，因實際地勢起伏與陡峭程度不同，彈道也可能同時跨越上、下層風。此時，狙擊手亦須了解如何判斷兩者之風速落差並將可能造成之差異納入風偏修正考量。(如圖十七)

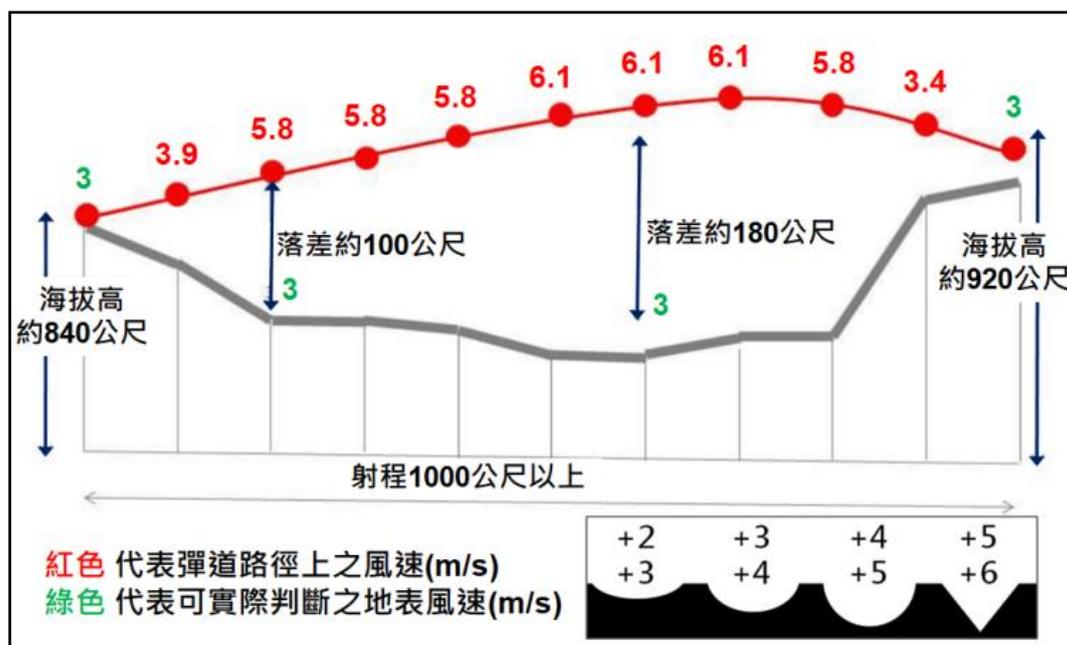
<sup>18</sup> 依據 TC23.14 美軍陸軍狙擊手訓練手冊，美軍 M24 狙擊槍各射程之最大彈道高(Maximum Ordinate)分別為：500 公尺(55 公分)、600 公尺(84 公分)、700 公尺(125 公分)、800 公尺(176 公分)、900 公尺(245 公分)、1000 公尺(327 公分)，其最大彈道高一般約產生於射程之 3/5 處。



圖十七 山谷地形射擊時，彈道跨越不同風層時其風速差異示意圖

資料來源：作者自行調製，參考 Tiborasaurus Rex 美軍退役狙擊手 YouTube 專業頻道內圖片。(調製日期：2021年8月26日)

(如圖十八)為挪威 THLR 公司生產之狙擊手輔助工具—測風卡(Wind Wiz)中關於上述情況下射擊之示意圖，其充分顯示出因不同地勢起伏或山谷陡峭程度，彈道飛行過程所受到的實際風速大小與地表上實際可判斷/測得之風速大小差異關係。另右下角圖示之數據(+2~+6)則代表因不同地勢起伏或山谷陡峭程度，射擊時可能所需增加之風修正響數，然而 THLR 公司也強調，圖中數值並非實際彈道參數，僅供原則性參考。狙擊手必須自行發展、蒐集符合個人使用槍枝與彈藥之適用參數。



圖十八 山谷地形射擊時，彈道跨越不同風層時其風速差異示意圖

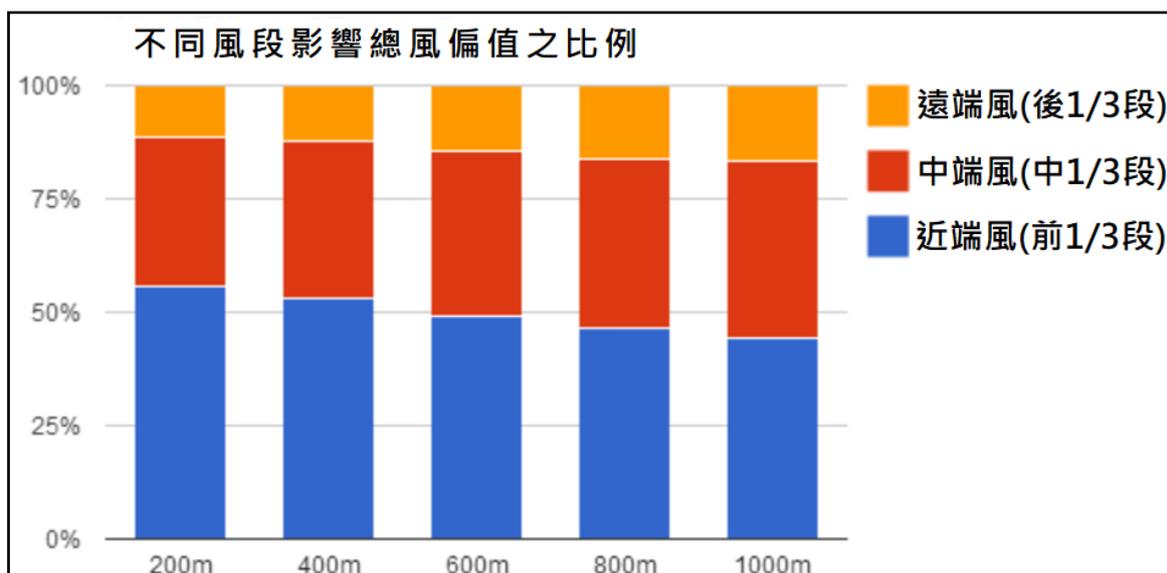
資料來源：作者自行調製，參考挪威 THLR 公司生產之狙擊手輔助工具—測風卡。(調製日期：2021年7月19日)

## 二、近/中/遠端風考量

對於近/中/遠端風(Near/Midway/Far Wind)之範圍界定，大部分射手多以射程之三等分來定義，如射擊 600 公尺時，0-200 公尺為近端風範圍、200-400 公尺為中端風範圍、400-600 公尺為遠端風範圍。少部分射手則習慣不論距離定義，直覺將射擊周邊能感知的風稱作近端風、射程中間距離上能觀測到的風稱作中端風、目標區周邊(特別是被彈面)能觀測到的風稱作遠端風。在了解範圍界定後，接著進一步來探討長期飽受爭議「近/中/遠端風何者對遠距離射擊彈道影響較大？」之問題。在參考多方文獻後發現其支持者說法各異，但似乎均有其道理。支持近端風者，其理由為彈頭於近端處因飛行尚未穩定，故一樣的風速造成之偏航角較大，導致飛行至遠處時彈道改變較大。支持中端風者，其理由為彈頭於該射程時飛行高度較大，因一般上層風風速較大，故對彈道影響較大。支持遠端風者，其理由為彈頭飛行至末端，初速已大幅降低，對照近、中端風之相同距離內，飛行時間較久，受風力影響必然較大。然而，若從中取出可信度較高之風偏研究相關文獻，則有支持近端風影響大於遠端風之傾向。如 Kestrel 公司生產之 5700 Applied Ballistic 測風儀，其在彈道使用手冊中表明：「槍口附近的風通常對飛行中之彈頭有最劇烈的影響。」另 Kestrel 公司官方網站專欄報告〈Where does wind matter?〉更直接以.308(175 格令)SMK 彈藥為例，指出不同射程上近/中/遠端風對總風偏值之影響比例，如射擊 200 公尺時，射程前 1/3 段風影響總風偏量 56%、中 1/3 段風影響 33%、後 1/3 段風則僅影響 12%，若改射擊 1000 公尺，前、中、後 1/3 段風之影響比例則依序為 44%、39%、17%，故以「近端風為影響風偏值最大之風段，而中端風影響也不應忽視，且隨著距離增遠影響比例還會增加。一般而言，1000 公尺內，總風偏值有 80%以上均由前 2/3 射程之風況所決定」之結論作結。<sup>19</sup>(如圖十九)

---

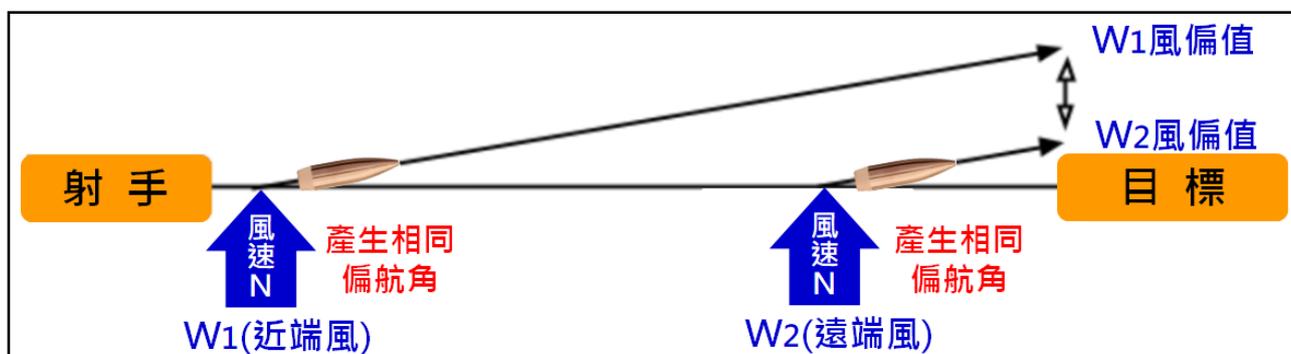
<sup>19</sup> Dan Periard, 《Where does wind matter?》, Kestrelinstruments.com 專欄報告, P3-4.



圖十九 不同風段影響總風偏值之比例

資料來源：Kestrel 公司官方網站專欄報告〈Where does wind matter?〉(檢索日期：2021 年 7 月 19 日)。

對此現象，其內文之解釋與本篇開頭觀念相互呼應，即：「子彈飛行時受風影響，係因改變飛行航角而形成風偏；而非整顆彈頭受風橫向吹移形成風偏。」(如圖二十)假設 W1 近端風與 W2 遠端風兩者風速(N)均相同，故其對彈頭產生之偏航角均應相同，則因 W1 近端風影響較早，到達目標前飛行距離遠，產生之風偏值較大；W2 遠端風影響較晚，到達目標前飛行距離近，最終之風偏值自然較小。」



圖二十 近/遠端風對風偏影響差異說明圖

資料來源：作者自行調製，參考 Kestrel 公司官方網站專欄報告〈Where does wind matter?〉(檢索日期：2021 年 7 月 19 日)。

另就作者觀點，所謂近/中/遠端風應非一特定範圍，可視該彈藥彈道性能而定。如同一般對於射程之界定：近程(Close Range)為 0-300 公尺、中程(Medium Range)為 300-600 公尺、遠程(Long Range)為 600-1000 公尺、超遠程(ELR, Extended Long Range)為 1000 公尺以上，或許適用多數 7.62 公厘口徑之輕型狙擊槍，但對於 .338 或 .50 等較大口徑之狙擊槍而言，要能精準射擊 1000 公尺目標並不困難，故改以「子彈進入次音速影響後距離(1340fps)」

來界定該彈藥之超遠程距離則較為適切<sup>20</sup>。以國造 TC94 狙擊彈特性為例，近端風，可概指產生於彈頭出槍口後，從不穩定狀態進入完全穩定階段兩者距離間的風，約 0-200 公尺範圍；中端風，可概指產生於彈頭從進入穩定階段後到準備進入次音速影響前兩者距離間的風，約 200-700 公尺範圍；至於遠端風，則概指產生於彈頭開始進入次音速影響後至初速降低於音速前(最大有效射程)兩者距離間的風，約 700-950 公尺範圍。進一步以 Trasol 彈道計算軟體模擬演算 TC94 狙擊彈射擊 800 公尺目標，分析不同距離範圍受近/中/遠端風影響之結果亦可發現：近端風範圍 0-200 公尺距離佔總射程 25%，但單就 10 哩橫風在這段距離內產生的風偏即佔 800 公尺總風偏 32%(風偏比大於射程比)；中端風範圍 200-700 公尺距離佔總射程 63%，10 哩橫風產生的風偏佔 800 公尺總風偏 62%(風偏比概等於射程比)；遠端風範圍 700-800 公尺距離佔總射程 12%，10 哩橫風產生的風偏僅佔 800 公尺總風偏 6%(風偏比小於射程比)。上述三者之百分比高低，凸顯其相對重要性，也更加支持近端風影響大於遠端風之論述。

然而，熟悉風速判讀並具大量遠距離射擊經驗之美國應用彈道學家 Bryan Litz 則表示其個人觀點：「It depends.(應視情況)。」原因為：「長期以來射手們習慣測量並修正各種可控與不可控變數，對於風也一樣。我們希望建立一個可以適應所有情況的風偏修正方法，然而事實卻不然。任何以近端或遠端風單一計算方法進行的修正，結果可能比不修正來的糟糕。」以國造 TC94 狙擊彈射擊 600 公尺人形目標為例，假設 0 至 500 公尺處經判斷約為 6 點鐘、10 哩之順風，僅 500-600 公尺目標區標準風筒不斷向右飄動約 60 度(判斷約為 9 點鐘、8 哩之橫風)，以具備多重風偏演算功能之彈道軟體計算可得知，其風偏修正值約向左 0.95MOA(其中有 0.65MOA 為右偏流影響，代表 500-600 公尺內 8 哩橫風僅能微幅影響彈頭產生約 0.3MOA 之偏移)。若目標區風筒改成向左飄動約 60 度，其修正量減少為向左 0.35MOA。同此情形，如果射手以傳統彈道觀點將目標區所觀測之風向與風速判定其為「遠端風」並認為其對彈道影響較大，而以「遠端風」進行單一計算與修正，無論以傳統風偏公式、新距離常數或 10 哩風換算基準表...等方法，風偏修正值至少需向左 4-4.25MOA，遠大於上述實際所需之修正量，勢將造成脫靶。

### 三、多重風偏修正考量

多重風偏修正係狙擊彈道學中難度較高的演算技術之一，在查閱國內外大量專業書籍後發現該議題鮮少就實用價值被深入探討過(僅簡述而未提供方法)。主要原因係風本身具瞬息萬變特性加上戰場目標多具時效性，狙擊手難

<sup>20</sup> Bryan Litz, 《Applied Ballistics for Long-Range Shooting》, P173.

有機會進行此般複雜的計算，即便完成計算也不見得能獲得預期的效果。但在真實射擊環境中，特別是身處城鎮地區欲跨越多重街區實施遠距狙擊、依山傍海之地區甚或崎嶇山谷等地形間，仍可能遭遇多重風偏影響。故本節僅略述多重風偏修正觀念並提供可行之估算方法，供必要時參考運用。

我國現階段狙擊手之所以無法科學、有效地計算多重風偏修正，主要是各種計算風偏的方法中，並沒有一個可以獲得特定範圍風況影響下之風偏公式，故本節提供之方法係依據具有多重風偏演算功能之 **Trasol** 彈道計算軟體以逆向推算獲得。以多重風偏 0-300 公尺(3 點鐘，8 哩風)、300-700 公尺(無風)、700-800 公尺(8 點鐘，10 哩風)之特殊環境射擊 800 公尺目標為例，參考表六，可利用右方欄位「C」與「D」矩陣查詢適用 800 公尺射程距離內、以 10 哩橫風為基準之 MOA 修正值。如 0-300 公尺(3 點鐘，8 哩風)之風偏值，以 D0 對向 C3 可得一數值「3.8」，其值代表國造 TC94 狙擊彈於 0-300 公尺受 3 點鐘，8 哩風影響於 800 公尺射程上之風偏值為 3.8MOA，因風向使彈著偏左故值為負，又因風速 8 哩，須再將-3.8MOA 乘以 0.8 約可得-3。300-700 公尺無風不修正。至於 700-800 公尺(8 點鐘，10 哩風)，則以 D7 對向 C8 可得 0.45，又因風向為 8 點鐘(正後方向射手左方所夾角 60 度)，故須再將 0.45MOA 乘以風向係數 SIN(60) 即 0.87 約可得 0.4MOA，因風向使彈著偏右故值為正。另考量 800 公尺右偏流影響約 1MOA，該多重風偏值為-3+0.4+1= -1.6MOA(彈著偏左)。(如表六)

表六 國造 TC94 狙擊彈 500-800 公尺多重風偏修正速查表

國造 TC94 狙擊彈多重風偏修正(10哩橫風基準)速查表(單位：MOA)																			
<b>A</b>	0	1	2	3	4	5	6	<b>C</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
<b>B</b>	0	1.3	2.5	3.5	4.4	5.1	5.5	<b>D</b>	0	1.3	2.6	3.8	5	6	6.9	7.5	8		
	1	1.3	1.2	2.2	3.1	3.8	4.2		1	1.3	1.3	2.5	3.6	4.7	5.5	6.2	6.7		
	2	2.4	1.1	1	1.9	2.6	3		2	2.5	1.2	1.2	2.4	3.4	4.3	5	5.4		
	3	3.3	2	0.9	0.9	1.6	2		3	3.6	2.3	1.1	1.2	2.2	3.1	3.8	4.2		
	4	4	2.7	1.6	0.7	0.7	1.1		4	4.6	3.3	2.1	1	1	1.9	2.6	3.1		
	5	4.4	3.1	2	1.1	0.4	0.4		5	5.5	4.2	3	1.9	0.9	0.9	1.6	2		
	<b>A-B：適用500公尺</b>							<b>C-D：適用700公尺</b>											
	<b>B-A：適用600公尺</b>							<b>D-C：適用800公尺</b>											
	6	6.2	4.9	3.7	2.6	1.6	0.7	0.7	1.1		6	6.2	4.9	3.7	2.6	1.6	0.7	0.7	1.1
	7	6.6	5.3	4.1	3	2	1.1	0.4	0.45		7	6.6	5.3	4.1	3	2	1.1	0.4	0.45

備註：(1)右偏流500M-0.5MOA；600M-0.6MOA；700M-0.8MOA；800M-1MOA；  
(2)本表依據Trasol彈道計算軟體演算後調製而成。

資料來源：作者自行調製，2021 年 7 月 19 日。

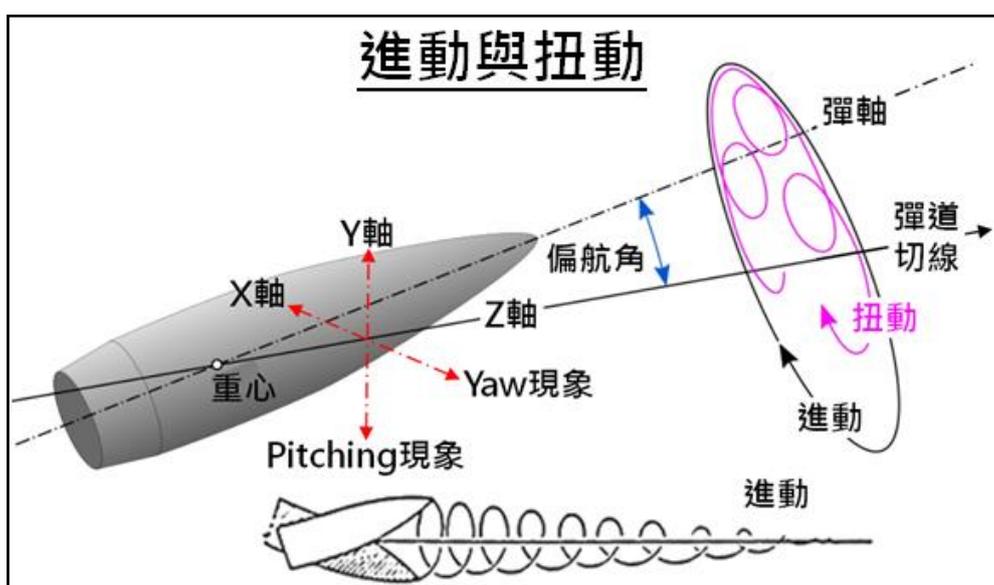
#### 四、風偏補正效應考量

當遇到以下條件：如近端風風向與中/遠端風向相反、或者當射程距離遠右偏流影響較明顯且同時出現風速較小之右橫風時、或者風向與目標運動方向相同時(如右橫風、目標向左運動)...等情況，兩者修正量互相抵銷，可能會出現不須調整響數或改變瞄準點的特殊情況，稱「補正效應」(Offsetting or No Correcting

Situation)。所以無論修正風偏或彈道，應考量各方面可能存在之補償因素，不可以單一因素考量斷然做出調整。就以官方確認狙擊人數 166 名並被譽為美國史上最致命的狙擊手—已故海豹突擊隊第三小隊士官長克里斯·凱爾(Chris Kyle)觀點為例，其曾於「美國狙擊手」一書中敘述到關於風偏修正的實用觀念，節錄如下：「在多數射擊情況下，我會依高度調整，不會依風勢調整。簡而言之，風勢瞬息萬變，每當我要依風勢調整時，風勢又變了。下降高度就不會亂變。不過在戰場上，通常沒有時間微調，要就開槍，不然就等著中槍。」

## 五、橫風跳動考量

左右橫風對右旋或左旋彈頭之彈道，除水平方向外，亦會產生垂直方向之高低影響，此現象稱橫風跳動(Aerodynamic Jump 或 Crosswind Jump)<sup>21</sup>。此現象由於較難理解，使多數人匪夷所思而選擇忽略這個真實存在的風偏修正議題。作者特地多加著墨釐清如下：因彈頭出槍口時偏航角較大，須藉由彈體高速旋轉並飛行一段距離後始可進入飛行穩定階段(即彈軸之偏航角以進動與扭動方式逐漸變小之過程)，(如圖二十一)，此時若因槍口近端處有足勁且持續之橫向風，將使彈頭原規律運動受到干擾，彈軸進而不斷擺動尋找平衡點，以恢復飛行之穩定，但過程中每次的擺動因彈體旋轉與橫向風綜合之作用力(即風阻)，使偏航角在垂直方向(Pitching)的改變量略大於水平方向(Yaw)，最後額外產生貌似彈頭跳動之垂直彈道偏移量。猶如桌面上穩定旋轉之陀螺，若用手指不斷輕觸陀螺側方，陀螺亦將產生晃動又旋即恢復穩定，反覆這個過程，也終將導致陀螺軸部位置產生垂直方向之明顯位移。

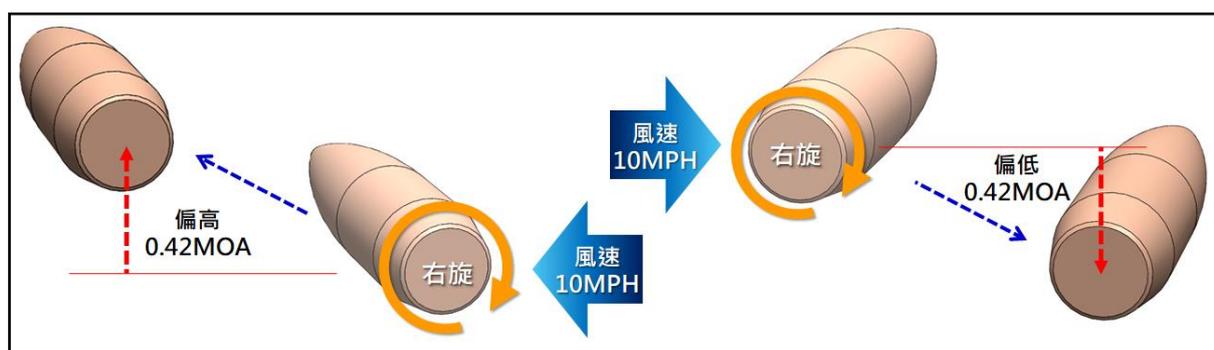


圖二十一 彈頭出槍口進動與扭動現象示意圖

資料來源：作者自行繪製，2021 年 7 月 19 日。

<sup>21</sup> 依軍備局 205 廠彈藥專家表示，「橫風跳動」一詞在學理上又可稱為「空氣動力偏移跳動。」

對右旋彈頭而言，由右向左橫風使彈頭向 10 點鐘偏移(偏高)，由左向右橫風則使彈頭朝 4 點鐘偏移(偏低)；對左旋彈頭而言則相反，由右向左橫風使彈頭向 8 點鐘偏移(偏低)，由左向右橫風則使彈頭朝 2 點鐘偏移(偏高)<sup>22</sup>。至於實際偏移量為何？參考美國以生產風偏修正輔助工具為主的黑熊彈道公司(Black Bear Ballistics)官網([www.dopedisc.com](http://www.dopedisc.com))可下載橫風跳動 Excel 自動計算檔案，輸入符合國造 T93K1 狙擊槍與 TC94 狙擊彈之參數後(米勒穩定係數 Miller Stability Factor 為 1.99、彈長-英吋 Length of Bullet in inches 為 1.22、口徑-英吋 Diameter of Bullet in inches 為 0.308)，可得知由右向左 10 哩橫風將使彈頭於 1000 公尺內各距離偏高約 0.42MOA，由左向右 10 哩橫風則偏低約 0.42MOA，即 800 公尺處已產生近 10 公分之偏差。(如圖二十二)當風速為 20 哩，可將偏移量乘以 2，風速為 6 哩風則將偏移量乘以 0.6，以獲得近似值。另補充美造 M107 狙擊槍搭配 M33 普通彈(661 格令)參數為：1000 公尺內各距離均約 0.4MOA。

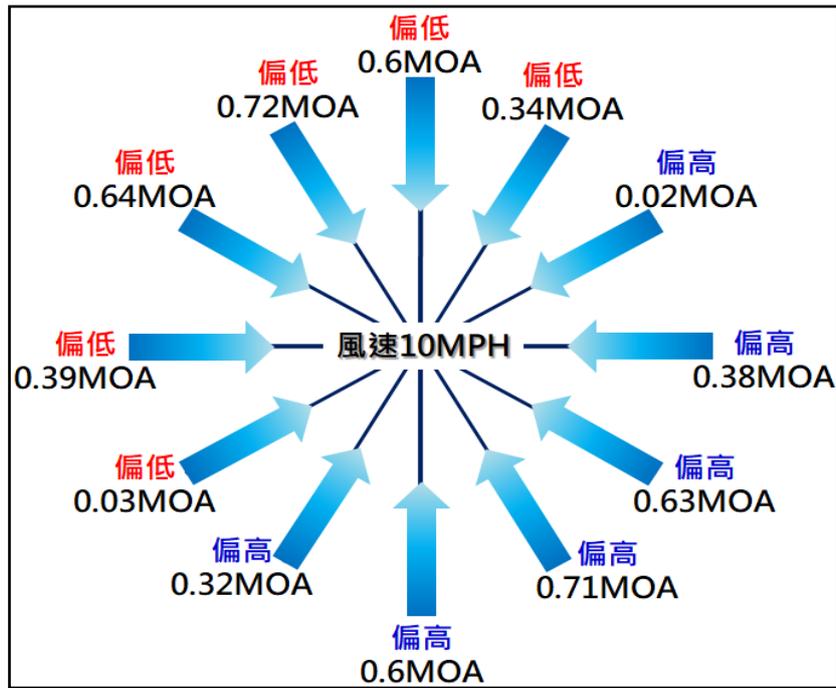


圖二十二 國造 T93K1 狙擊槍橫風跳動示意圖

資料來源：作者自行繪製，2021 年 7 月 19 日。

若風向來自非 3、9 點鐘方向(橫風)，而改來自 1、2、4、5...等其他鐘點方向，此時因存在順風/逆風(使彈道偏高或偏低)與影響值減弱之橫風跳動等綜合因素，致使高低影響產生補正或加乘效應，建議直接以彈道軟體模擬求得必要修正值。以近似 TC94 狙擊彈彈道模擬 800 公尺射擊，風速每小時 10 哩，風向來自各整點鐘時(即每 30 度)，其最後之修正值均不盡相同，可知其中補正或加乘之複雜程度(如圖二十三)。

<sup>22</sup> Fredrik C. Jonsson, 《Maritime Sniper Manual》(Paladin Press, 2010), P17.



圖二十三 橫風跳動因風向產生產生補正或加乘效應

資料來源：作者自行調製，2021 年 7 月 19 日。

故橫風跳動實際之修正，通常以小口徑精準步槍於近距離實施射擊競賽、中口徑精準狙擊步槍於中、遠程射擊縮小目標或大口徑精準步槍實施超遠程 (ELR) 射擊競賽時且近端風距離上(200 公尺內)有風速大於 10 哩之均質橫風產生時，優先納入考量。

#### 六、風偏修正之其他考量

為了達到狙擊手能於遠距離首發命中之要求，最後補充兩點說明：其一，雖然風偏理論將 6、12 點鐘視為不修正，但就彈道學觀點而言，6 點鐘方向風為順風子彈初速衰減勢必較 12 點鐘方向之逆風情況下慢，代表相同射程內，彈著點高度勢必有所差異。故就遠距離精準射擊考量，雖不調整風偏，仍須考量垂直調整。以近似國造 TC94 狙擊彈模擬彈道為例，在 10 哩風速下，射擊 800 公尺目標，順風(6 點鐘)彈著將偏高 0.5MOA，逆風(12 點鐘)則偏低 0.5MOA。

其二，因學理風偏值係透由實際衡量彈藥能力、彈道特性與外在環境等因素計算而來，故空氣密度大小亦將影響風偏值程度。當空氣密度較大時，相對空氣阻力大，使彈速衰減快，相同射程內飛行時間較長，受風影響較甚，風偏值因而較大；反之，則相反。以 Trasol 彈道計算軟體模擬近似 TC94 狙擊彈彈道為例，當射擊環境與歸零環境兩者密度高度相差 250 公尺時(密度高度高，空氣密度小，風偏值較小；反之，則相反)，在 10 哩橫風影響下，600 公尺處風偏量相差約 0.2MOA(3.5 公分)、800 公尺處風偏量相差約 0.3MOA(7 公分)，

影響看似甚小。但若改以美軍常用標準環境(密度高度 50 公尺)與較適我國標準環境(密度高度 750 公尺)輸出射表之 10 哩橫風風偏值相比，600 公尺處則相差近 10 公分、800 公尺處甚至相差超過 20 公分。由此可見射表輸出時天候環境設定基準之重要性，故需以所在地區長年之天候為基準輸出風偏射表(對照表)，以降低風偏值受空氣密度影響之程度與誤差。

## 陸、結語

狙擊首在「遠距離精準射擊」，為「歪打正著」的數理算計，因「彈道」易受外在因素干擾而變化多端，是門不易學透、內化的學問，更難轉化成實用技能，就算是射擊高手也鮮少能嫻熟箇中奧秘。狙擊任務為達軍事行動順遂的關鍵戰力，各軍事強國莫不投入大量人力、財力，發展高精準度槍彈及科技輔助裝置，除可「先利其器」外，更欲彌補狙擊手訓練不易之困境。而這些「智能」精品，如測距儀、彈道計算機、紅外線感測器、智能彈頭等，對處瞬息萬變戰場並非萬靈丹，因為要完全達到，輕量化、高可靠、遠精準、避干擾、快運算、低價位等完善需求，實非易事，就強如美軍也難一蹴可及。況且，當上述「智能」裝備在戰場上損壞或遺失而無法即時提供射擊參數時，狙擊手終究仍得回歸人工「算計」。而能否「算計」正確的方法無他，惟有運用奠基於科學之「狙擊彈道理論」才能成功讓手上的狙擊槍、彈於遠距離發揮首發命中的最大效用。

本文係作者經蒐整眾多美軍現役、退役狙擊手、彈道專家所編相關研究書籍，並結合本身教學訓練實務與實彈驗證結果後撰寫而成，期能成為狙擊手欲專研「彈道算計」的最佳秘笈。更盼能藉此拋磚引玉，邀請各界軍警好手，共同努力研究、學習職務上所必須獲得之知識與技能，達到狙擊手於有效射程內理應「一擊必殺」的真實境界。惟狙擊彈道理論涵蓋範圍甚廣且礙於文章篇幅，本文僅先針對對外彈道影響最甚的「風力」進行探討，期使讀者能立即感受到「科學化練兵」帶來的直接幫助。然而，為能達到遠距離首發命中之目的，吾人尚須了解「大氣壓力、溫度、相對濕度、密度高度、降雨與霧」等外在環境因素、以及「重力、旋轉偏移與科氏力」等影響彈頭飛行的作用力...等，均係對彈道影響甚大且值得狙擊手努力學習、納入射擊考量之因素。「學海無涯勤是岸」，希望以此共同砥礪策進、持續專研深入。

## 參考文獻

1. 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)。
2. 余奎麟,《海軍陸戰隊狙擊手訓練手冊》(桃園縣,國防部海軍司令部,民國 100 年)。
3. 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)。
4. 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)。
5. 《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)。
6. 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)。
7. 郭正祥,《輕兵器設計技術手冊》(高雄市,聯勤第 205 廠,民國 75 年)。
8. 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)。
9. 克里斯凱爾 著,高紫文 譯,《美國狙擊手》(台北市,高寶國際有限公司台灣分公司,民國 104 年)。
10. TC 23-14, 《US Army Sniper Training Manual》(U.S.A., Headquarters Department of the Army, 1988)
11. FM 23-10, 《Sniper Training》(U.S.A., Headquarters Department of the Army, 1994)
12. FM 3-05.222, 《Special Forces Sniper Training and Equipment》(U.S.A., Headquarters Department of the Army, 2003)
13. FM 3-22.10, 《Sniper Training and Operations》(U.S.A., Headquarters Department of the Army, 2009)
14. TC 3-22.10, 《Sniper》(U.S.A., Headquarters Department of the Army, 2017)
15. Maj. John L. Plaster, 《The Ultimate Sniper》(U.S.A., Paladin Press, 1993)
16. Mike R. Lau, 《The Military and Police Sniper》(U.S.A., Precision Shooting Inc, 2000)
17. Michael Haugen, 《Modular Sniper Data Book》(U.S. Tactical Supply, Inc. , 2004)
18. Linda K. Miller& Keith A. Cunningham, 《The Wind Book for Rifle Shooter》(U.S.A., Paladin Press, 2006)