

以彈道模擬模組探討調整本軍空炸射擊觀測作業技術之可行性

作者：林政諭

提要

- 一、彙整近年赴美參訓人員所反饋之資訊，以及參閱美軍現行準則，發掘美軍與本軍於空炸射擊作業技術之原理，並不全然相同，因此，探究兩軍之間技術差異所產生之現象與結果，並依研究成果試圖獲得在現有裝備資源及作業基礎之原則上，評估適度調整本軍空炸射擊觀測作業技術作法之可行性，以提升射擊效益，即為本文研究之動機。
- 二、因標準彈道散布具有內在的隨機性，本文採用「蒙地卡羅法」做為研究方法，該法係為基於大數法則的實證方法，其核心原理為利用生成符合一定規則的「隨機數」，並藉由電腦的運算能力通過大量重複試驗來估算結果值，以類比某一事件最終呈現的態勢，隨著試驗次數增加，其結果將會趨近於真實值。
- 三、瞭解兩軍作業差異性後，於彈道模擬模組隨意設置情境以應對各種砲目關係，並於模組輸入各情境設定參數，執行標準無散布之射擊任務，因彈著點無散布，可簡化變因，呈現作業差異於標準彈道產生之結果，便於探討兩軍技術本質。
- 四、美軍作法可為本軍建軍備戰之圭臬，惟本文研究範圍旨在如何著眼當下，依現有裝備及作業基礎之原則，找尋更具效益方案調整陳舊作法，達到立竿見影之成效，亦為本文論述重點。
- 五、若可藉實彈射擊驗證彈道模擬試驗，定可做為修正方案有力之依據，然而實彈射擊驗證需要確保之變因繁多，因此，若新式砲兵觀測模擬器內具備彈道參數、環境影響等更加詳細的設定功能，除使彈道表現趨近於非標準狀況之現實環境，更可以實際畫面及飛行數據體現各方案最終結果，進而取代實彈射擊試驗。

關鍵詞：空炸射擊觀測作業技術、蒙地卡羅法、標準彈道隨機散布模組、新式砲兵觀測模擬器

前言

彙整近年赴美參訓人員所反饋之資訊，以及參閱美軍現行準則¹，並與美砲校(Fort Sill)教官雙向交流後，發掘美軍與本軍於空炸射擊作業技術之原理，並不

¹ 《Field Artillery Manual Cannon Gunnery(TC 3-09.81)》(Washington,DC，2016年4月) 以及《Observed Fires(ATP 3-09.30)》(Washington,DC，2017年9月)。

全然相同，查照美軍現今所使用之射表相較本軍所用射表，於各號裝藥「F 表」中第 4 欄呈現資訊為「修正 10 公尺炸高所應調整之信管時間（DFS PER 10M DEC HOB）」，與本軍調整高低修正量修正炸高之作法不同，因此，探究兩軍之間技術差異所產生之現象與結果，並依研究成果試圖獲得在現有裝備資源及作業基礎之原則上，評估適度調整本軍空炸射擊觀測作業技術作法之可行性，以提升射擊效益，即為本文研究之動機。

然而，因為空氣動力因素作用（如彈重誤差、初速誤差、射角散布及阻力係數散布等）使得彈體的運動不再是簡單的質心運動，而是複雜的空間剛體運動，即使於標準狀況下射擊，射彈仍會產生隨機散布，造成每發射彈的彈道曲線不同，此現象使問題探討已無法僅以單一結果做為評斷之依據，必須針對標準狀況下特定變因之隨機變量所產生大量隨機散布的結果與數值，加以蒐整、分析、比較。因標準彈道散布具有內在的隨機性，本文採用「蒙地卡羅法」²做為研究方法，該法係為基於大數法則的實證方法，其核心原理為利用生成符合一定規則的「隨機數」，並藉由電腦的運算能力通過大量重複試驗來估算結果值，以類比某一事件最終呈現的態勢，隨著試驗次數增加，其結果將會趨近於真實值，本法已廣泛運用於空氣動力學領域。

筆者於「使用 EXCEL 建構近似射表標準空氣之彈道模組」一文已闡述如何建構符合射表彈道模組，並可呈現射表所缺少資訊，如：任何射角、飛行時間及砲目距離之彈道飛行軌跡及數據（如圖 1），甚至彈重散布對初速產生誤差等參數，其最大價值在於藉由模組將彈道具體化（本文以 105 公厘榴砲及 4 號裝藥、M520 空炸信管為例）並結合蒙地卡羅試驗法後，使欲探討之問題得以聚焦。

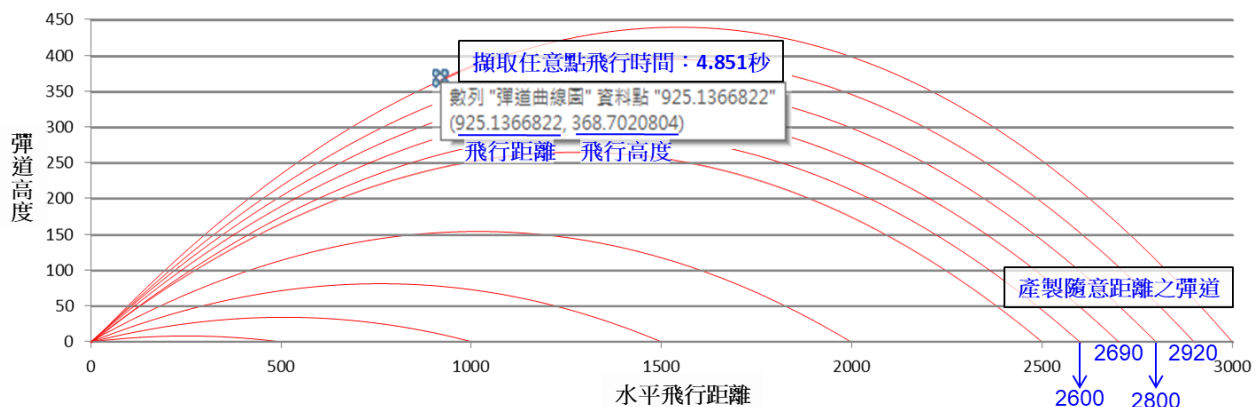


圖 1 彈道具體化示意圖

資料來源：筆者以彈道模擬模組自行繪製

美軍與本軍空炸射擊作業方法說明與差異分析

為瞭解兩軍空炸射擊作業技術之差異，分別參閱美軍「Field Artillery Manual Cannon Gunnery」—射擊指揮所作業要領、「Observed Fires」—觀測所作業要領、「野戰砲兵射擊手冊」—美軍野戰砲兵射擊法（Field Artillery Gunnery, FM6-

²維基百科，〈<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/蒙地卡羅方法>〉，2024 年 12 月 9 日。

40，1974 年 7 月版）之譯本及本軍「陸軍野戰砲兵觀測訓練教範」³，作業技術重點如下表列；另本軍射擊指揮所及觀測所空炸射擊之作法，因相關準則均有詳細說明，僅列舉與美軍觀測所作業較大差異之處，餘不再贅述：

一、美軍射擊指揮所作法

節次	作業技術相關說明
HIGH-EXPLOSIVE WITH TIME FUZE 空炸信管射擊 (Field Artillery Manual Cannon Gunnery)	9-27(P9-18). A time fuze achieves the best effects on the target when it functions at a 20-meter HOB, The trajectory of the projectile must be altered to cause the projectile to pass 20 meters above the target
	當使用空炸信管進行射擊時，若希望在目標上空達到最佳效果，須使信管在 20 公尺之高度爆炸，為了滿足上述條件，必須調整彈道，使其確保可通過目標正上方 20 公尺
	9-28(P9-18). If subsequent adjustments for the HOB are necessary ,then the FS is the only element of firing data that is recomputed, The trajectory , deflection and quadrant elevation will remain the same
	如果後續必須實施炸高修正，則信管時間設定是唯一需要重新計算的射擊數據，而彈道、方向修正、射角將保持不變
	9-28(P9-18). ΔFS moves the functioning of the fuze along the trajectory by increments of 10 meters 信管時間調整的運作機制是藉調整通過目標上方 20 公尺彈道的爆炸時間，使炸高以 10 公尺的倍數調整
空炸信管射擊之程序 (野戰砲兵射擊手冊)	18-15 空炸信管射擊之程序(P237)以瞬發信管實施試射，再以適當之距離夾差(通常為 100 公尺)折半或獲得良好之觀測結果時，觀測官即要求空炸信管，行炸高之試射

³林政諭，《陸軍野戰砲兵觀測訓練教範》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 111 年 10 月 28 日）。

二、美軍觀測所作法

節次	作業技術相關說明
HIGH OF BURST CORRECTION 炸高修正 (Observed Fires)	5-23(P5-6). Therefore,do not begin the fire for effect phase when the spotting for the previous round GRAZE or the HOB correction is greater than 40 meters 若前群得著發或炸高修正超過 40 公尺時，不可以進入效力射階段
FIRE FOR EFFECT 效力射 (Observed Fires)	5-55(P5-13). If fuze time is used,the observer requests FUZE TIME after correcting range and deviation but before announcing FIRE FOR EFFECT 當要使用空炸信管時，觀測官於距離及方向修正完成後，下達效力射之前，向 FDC 要求「信管時間」 5-57(P5-13). After requesting FUZE TIME,the observer does not send any more range or deviation correction to the FDC 觀測官在要求「信管時間」後，即不再實施方向與距離之修正
炸高修正 (野戰砲兵射擊手冊)	10-12 要則(P154)使用空炸信管行面積射擊，觀測官按瞬發信管之方法行偏差及距離之修正，直到適當距離夾差折半，再開始修正炸高，並且不再需進一步行偏差及距離之修正 10-14 炸高修正(P155)當初發射彈為混合(OV)時，觀測官則修正高 20 並進入效力射

三、本軍觀測所作法

節次	作業技術相關說明
面積射擊	06025 射彈觀測(P6-291)同時實施距離及炸高修正，若各因素或經驗不足，優先修正炸高使其易見「破片落地效力面」後，再行距離修正 06035 試射(P6-345)如炸高過高不能判定距離遠近，須降低炸點，俾能判定遠近後，始行距離修正 06035 試射(P6-345)炸高未達正確高度或無法確保效力射為良好炸高者，不得要求效力射 06037 效力射(P6-356)空炸射擊須求得良好炸高，或經修正後之炸高必屬良好時，始可進入效力射。如最後一群射彈為著發時，不應進入效力射

四、兩軍作業差異之說明

項次	美軍	本軍
射擊程序	以瞬發信管試射，距離修正至夾差折半(距離好)，再行炸高修正之試射	初發即以空炸信管試射，並同時實施距離及炸高修正
初發空炸射角	以概定距離推算 $20/R$ 值	以初發之圖上距離推算 $20/R$ 值
炸高修正方式	調整信管時間	調整高低修正量
效力射限制	炸高修正超過 40 公尺，不得效力射	未明確律定，僅說明無法確保為良好炸高者，不得效力射
彈道差異	不改變彈道(如圖 2)，使射彈沿著通過目標正上方 20 公尺之彈道曲線上爆炸	改變彈道(如圖 3)，使射彈沿著射角改變後的彈道曲線爆炸

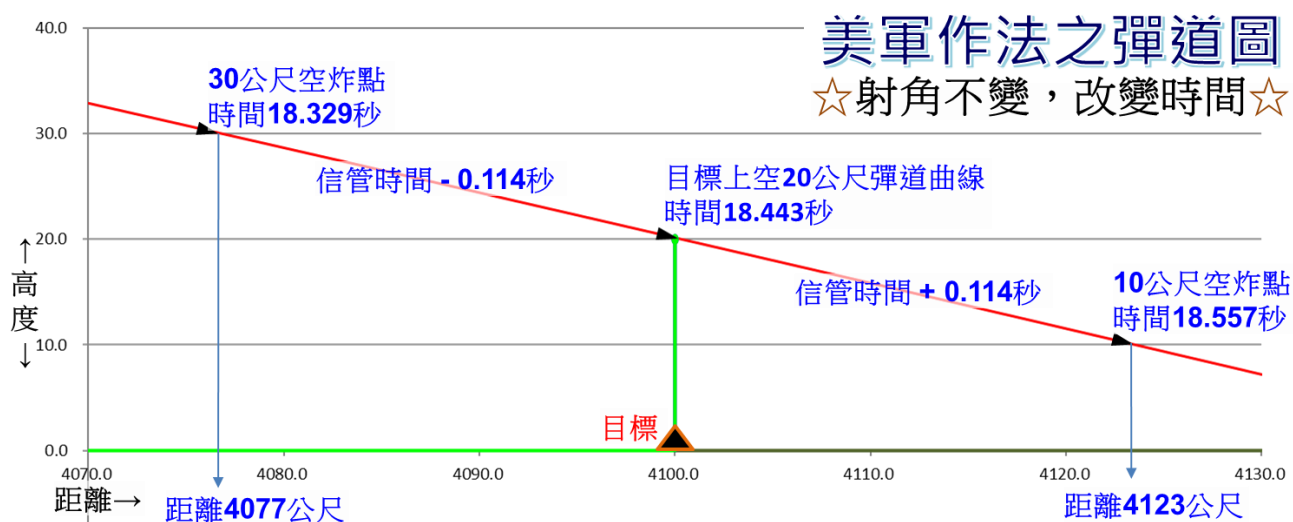


圖 2 距離 4100 公尺，美軍空炸修正(高、低 10 公尺)彈道示意圖

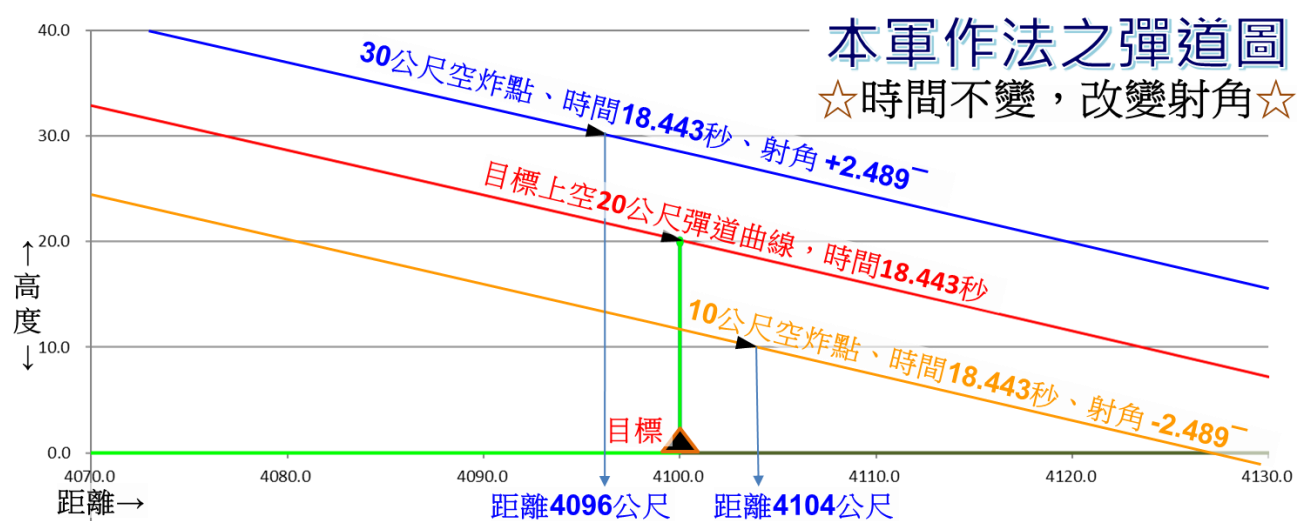


圖 3 距離 4100 公尺，本軍空炸修正(高、低 10 公尺)彈道示意圖

資料來源：圖 2、3 為筆者以彈道模擬模組自行繪製

五、標準彈道結果分析及比較

瞭解兩軍作業差異性後，於彈道模擬模組隨意設置 4 種情境（如表 1 備註）以應對各種砲目關係，並推算真實彈道諸元，於模組輸入各情境設定參數，執行標準無散布之射擊任務（包含試射及效力射兩階段），因彈著點無散布，每發彈著僅會產生單一觀測官修正報告及次發射擊諸元，可簡化變因，呈現作業差異於標準彈道產生之結果，便於探討兩軍技術本質，美軍及本軍各情境所得數據比對分析呈現，如圖 4 及表 1。

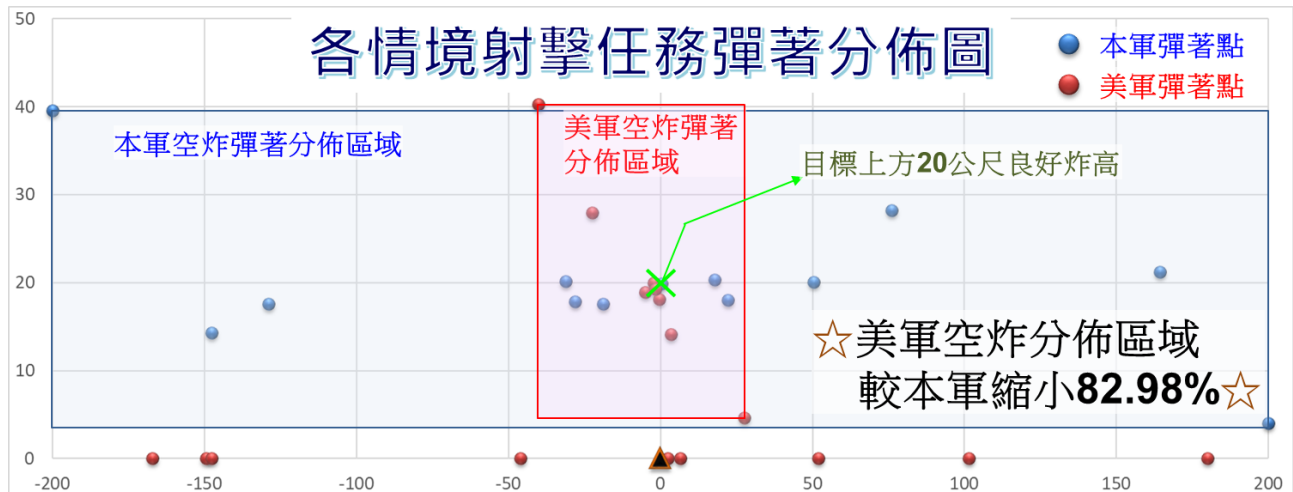


圖 4 以瞬發或空炸信管於試射階段之彈著分佈圖

表 1 兩軍作法於效力射階段所得結果分析表

比較項次	美軍				本軍			
	情 1	情 2	情 3	情 4	情 1	情 2	情 3	情 4
與 20 公尺炸高 誤差	-1.9	-1.07	-0.03	-0.69	-2.4	-0.11	+0.35	-1.97
	誤差較小 0.923 公尺				1.208 公尺			
與目標距離 誤差	-0.5	-5.1	-2.2	-1.8	-18.7	+0.3	+17.7	+22.1
	誤差較小 2.4 公尺				5.95 公尺			
與標準射角 誤差	-1.095	-1.395	-0.581	+0.321	-3.584	-0.162	+2.626	+3.324
	誤差較小 0.848 密位				2.424 密位			
與標準信管時間 誤差	-0.013	-0.045	-0.003	-0.006	-0.123	0	+0.137	+0.144
	誤差較小 0.017 秒				0.101 秒			
備註 (4 號裝藥，距離 4000-5000 公尺)	情境 1：目標較圖上距離近 100 公尺、高陣地 32 公尺，真實彈道諸元：射角 398.043、信管時間 19.114 情境 2：目標較圖上距離遠 150 公尺、低陣地 20 公尺，真實彈道諸元：射角 470.297、信管時間 22.924 情境 3：目標較圖上距離遠 190 公尺、高陣地 70 公尺，真實彈道諸元：射角 464.048、信管時間 21.726 情境 4：目標較圖上距離近 260 公尺、低陣地 50 公尺，真實彈道諸元：射角 412.35、信管時間 20.65							

資料來源：表 1、圖 4 為筆者自行整理及繪製

六、小結

(一)就射擊程序而言，以瞬發信管試射取得概定距離再行炸高試射，可使空炸射彈靠近目標週遭，縮小空間分佈範圍，有利於射彈觀測與修正。

(二)依彈道模組呈現結果(如下表)，以「概定距離」計算空炸射角之 **20/R** 值，較以「初發圖上距離」計算者，所得彈道更接近目標上空 20 公尺所望區域，惟兩者彈道差異甚小，並不影響射彈觀測結果。

比較項次	以「概定距離」計算				以「初發圖上距離」計算			
	情 1	情 2	情 3	情 4	情 1	情 2	情 3	情 4
與 20 公尺炸高 誤差	-1.9	-1.07	-0.03	-0.69	-2.32	-0.82	+0.87	-1.69
	0.923 公尺				1.43 公尺			
與目標距離 誤差	-0.5	-5.1	-2.2	-1.8	-0.6	-5.4	-2.6	-1.9
	2.4 公尺				2.63 公尺			
與標準射角 誤差	-1.095	-1.395	-0.581	+0.321	-1.208	-1.328	-0.608	+0.272
	0.848 密位				0.854 密位			

(三)美軍於 1965 至 1971 年間參與越南戰爭，期間大量運用砲兵火力，1971 年使用第 7 版射表(適用 M101 式 105 公厘榴砲)後，即轉變其空炸射擊作業程序及作法⁴，後續經過波斯灣及伊拉克戰爭之驗證(由 M101 式逐漸換裝 M119 式⁵)，該程序與作法仍沿用至今，於彈道模組表現之結果，確實優於傳統作法。

(四)美軍作法可為本軍建軍備戰之圭臬，惟各式火砲是否得以換發新版射表及取得 M564 與 M520 信管於各式火砲之信管時間補償量，所受限制因素複雜且不預期，非本文研究範圍，如何著眼當下，依現有裝備及作業基礎之原則，找尋更具效益方案調整陳舊作法，達到立竿見影之成效，為本文後續論述重點。

建構試驗所需標準彈道隨機散布模組

由於隨機散布之特性，使得以同一門火砲在「相同諸元」和「射擊條件」下發射「同一批射彈」，這些射彈將不會落於同一點而形成散布⁶，且該現象符合常態分佈⁷。若可以再次執行同一射擊任務，仍會因為隨機散布產生截然不同之觀測結果及相應之修正報告，而使射擊結果有不同走向，因此建構隨機彈道模組用以重複模擬觀測官執行單次射擊任務之實際觀測景況，並整合數據，突顯各式作法呈現之結果及優劣，以下分別說明。

⁴《Field Artillery Gunnery(FM6-40)》(1974 年 7 月)

⁵維基百科，〈<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/M119> howitzer〉，2024 年 12 月 4 日。

⁶同註 3，頁 5-132。

⁷常態分布，是在許多統計及統計測試中最廣泛應用的一類分布。維基百科，〈<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/常態分布>〉，2024 年 9 月 29 日。

一、標準彈道散布成因

標準彈道散布原因在於，「標準射擊條件」⁸中某些不可控制因素產生變化，使標準彈道具有內在的隨機性，產生方向、距離及信管時間散布，其中火砲之方向散布小於距離散布甚多，在小 T 角下影響觀測結果甚微，距離及信管時間散布才是影響觀測結果之決定性因素，而標準氣象、地球及火砲條件，準則已有詳細說明不再贅述，僅說明標準彈道條件如下：

- (一)彈重：同一批彈體由於加工誤差的存在，使其重量產生誤差而形成常態分布，取其分布中心值即為標準彈重（純彈頭不含引信及引信塞）。
- (二)藥溫：攝氏+21.1 度（華氏+70 度）。
- (三)初速：影響者有「藥溫」、「火砲本體」、「發射藥重量」、「彈重」，前 3 者為標準定值⁹，因此在標準彈道條件裡，僅彈重分布產生初速變化。
- (四)定起角¹⁰：射彈於砲膛內運動過程，砲管產生震動及轉動，溫度及重力的作用使砲管彎曲，同時射彈的動力及氣動力的不平衡，均為產生定起角之原因；定起角為一隨機值，並可在任意方向上出現，為了方便，通常分為「水平定起角（使火砲產生方向散布）」及「垂直定起角（火砲射角改變而產生距離散布）」，垂直定起角於同一裝藥下會隨著射角改變而增大或減少，而射角改變又連帶使阻力系數發生變化¹¹。

因此「距離公算偏差」可表示成「射角散布」、「初速散布」及「阻力符合係數散布」的函數¹²；「信管時間公算偏差」則同時產生炸高及空炸點與目標距離之散布（如圖 5），且與距離公算偏差相互作用時，可能使炸點更加遠離目標，影響觀測官正確之修正結果。

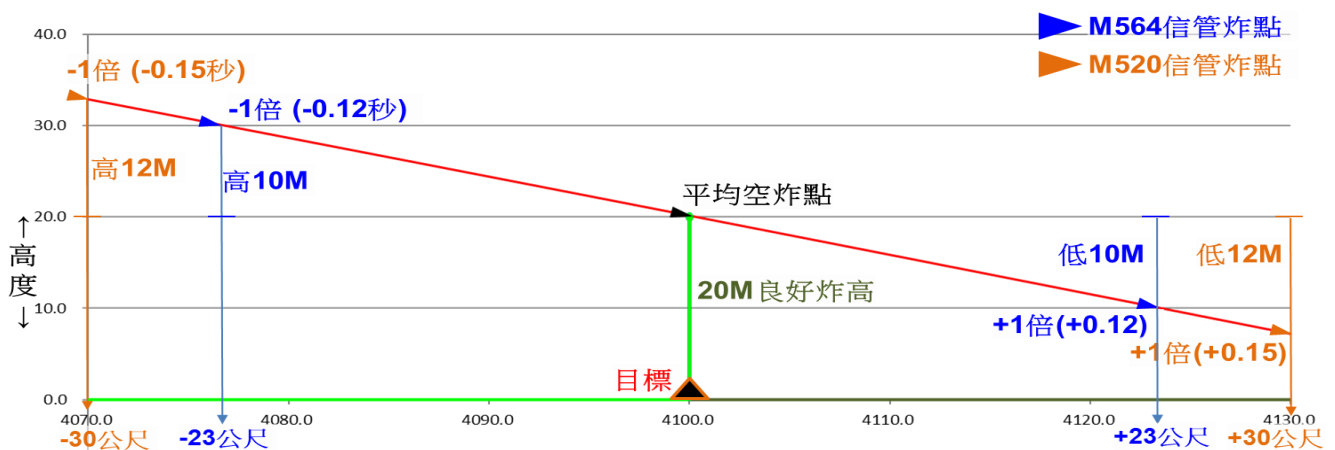


圖 5 M564 與 M520 信管「1 倍時間公算偏差」炸點示意圖

資料來源：筆者自行繪製

二、確定變因變量值，完成隨機散布模組建構

⁸嚴章庚、祁戴康，《射表技術》（北京：國防工業出版社，2000 年 1 月），頁 7。

⁹同註 8，頁 10。

¹⁰同註 8，頁 11 及註 3，頁 3-72。

¹¹同註 3，頁 3-59 及註 8，頁 11。

¹²同註 8，頁 208。

射表中如 B 表、F 表內第 1、2、5、7、10、11、18、19 欄、G 表內第 1、7 至 12 欄等數值，均以標準射擊條件計算所得，可用以確認標準彈道模組設定參數是否正確，其他表次及欄位則是修正非標準狀況下射擊之現象，如地球自轉、氣象、發射藥溫影響等，由於可供對照欄位甚多，因此找出模組設定所需正確之參數值並不困難，以表 2 為例，以彈道模組設定參數並輸出各欄位數值後，逐一比對射表均能符合或誤差甚微（小於 0.5%），因此便能以該設定值，獲得射表未記載的任意砲目距離彈道數值（如表 2 黃底紅字部分）。

表 2 任意砲目距離之彈道數值表

4 號裝藥	1	2	3	4	5	6	7
射表距離 (m)	射表仰度 (mil)	射表頂點 (m)	射表時間 (s)	至頂點 時間(s)	射表落角 (mil)	射表 落角餘切	射表末速 (m/s)
	模組仰度 (mil)	模組頂點 (m)	模組時間 (s)	至頂點 距離(m)	模組落角 (mil)	模組 落角餘切	模組末速 (m/s)
4000	357.4	389	17.9	8.823	400	2.4	221
	357.369	389.499	17.822	2071	399.51	2.42	222.06
4159	377.357	430.89	18.745	9.276 2156.47	423.17	2.27	220.84
4239	387.805	453.218	19.226	9.51 2199.49	435.66	2.19	220.25
4250	389.281	456.35	19.293	9.544 2205.75	437.46	2.18	220.17
4500	423.8	533	20.9	10.309	479	2.0	218
	423.752	533.499	20.859	2341	478.42	1.97	218.49
5000	505.4	731	24.5	12.058	575	1.6	215
	505.441	732.93	24.45	2613	574.67	1.58	215.41

資料來源：筆者自行整理

由前段說明，可知標準彈道散布之變因為彈重、初速、射角及相應阻力係數，為了找尋變因變量值，須確保模組所得各數值均能與射表相符合，方能以模組推算各項變因的變量值，以表 3 為例，標準彈道模組所得每加減 1 仰度及每 1 彈體方塊重對距離產生之變化量，結果均與射表相符，並推算出射表未記載之彈重誤差影響初速變化量（如表 3 黃底部分），以四號裝藥為例，為每增加 1 方塊重，初速減少 5.979 英呎/每秒；每減少 1 方塊重，初速增加 5.859 英呎/每秒，各項變因變量值均確認後，即可獲得任意距離之「距離公算偏差」值（如表 4），最後於每項變因中加入散布倍數隨機抽樣設定，並確保公算偏差出現機率符合正常命中公算表所列常態分布機率值¹³，以模擬各項變因隨機散布情形，即可完成隨機散布標準彈道模組之建構。

¹³同註 3，頁 5-154。

表 3 各項變因變量數值表

裝藥	距離	仰度	阻力 CDX	阻力 CDY	距離 (變化量)	標準彈重 (變化量)	初速	距離 (變化量)
4	4000	357.369	0.1266	0.4259	3999.841	14.96854821	860	3999.841
		358.369			4007.754	15.24070363	854.021	3958.526
		+1			+7.913	+0.6 磅	-5.979	-41.315
		356.369			3991.914	14.69639279	865.859	4039.832
		-1			-7.927	-0.6 磅	+5.859	+39.991
	4500	423.752	0.1283	0.3586	4500.037	14.96854821	860	4500.037
		424.752			4506.742	15.24070363	854.021	4455.568
		+1			+6.705	+0.6 磅	-5.979	-44.469
		422.752			4493.607	14.69639279	865.859	4543.015
		-1			-6.43	-0.6 磅	+5.859	+42.978
	5000	505.44	0.1306	0.2990	4999.938	14.96854821	860	4999.938
		506.44			5005.093	15.24070363	854.021	4952.827
		+1			+5.155	+0.6 磅	-5.979	-47.111
		504.44			4994.948	14.69639279	865.859	5045.144
		-1			-4.99	-0.6 磅	+5.859	+45.206

表 4 任意距離之「距離公算偏差」數值表

裝藥 4		散布係數	射角散布		初速散布		阻力係數散布		距離 公算偏差
			標準	散布值	標準	散布值	標準	散布值	
射表距離	1000	0.291%	74.85	75.068	860	861.465	0.1179	0.1182	6
							1.19	1.1865	(5.999)
	4000	0.476%	357.369	359.070	860	861.465	0.1266	0.1272	22
							0.4259	0.4239	(22.419)
	4500	0.581%	423.752	426.214	860	861.465	0.1283	0.1290	26
							0.3586	0.3565	(25.565)
	5000	0.835%	505.441	509.661	860	861.465	0.1306	0.1317	29
							0.299	0.2965	(29.405)
任意距離	4159	0.509%	377.357	379.279	860	861.465	0.1271	0.1278	23.380
	4239	0.526%	387.805	389.846	860	861.465	0.4045	0.4024	24.060
							0.1274	0.1281	
	4250	0.529%	389.281	391.338	860	861.465	0.3937	0.3917	24.429
							0.1275	0.1281	
							0.3923	0.3902	

資料來源：表 3、4 為筆者自行整理

執行模擬試驗，探討空炸射擊觀測作業技術適合方案

依本軍現有裝備及空炸射擊作業基礎，並融合美軍作法之優點，制定所欲試驗方案共計 3 種（2 種改進作法，1 種現行作法，相互對照，小 T 角，射彈結果均確實可見），藉由彈道模組大量模擬各方案於諸多情況下隨機散布彈著點，綜整模擬數據及各方案呈現之結果並分析優劣，以下分別說明。

一、制定試驗規則

（一）現行法則：初發射角包含 20/R，炸高與距離同時修正，炸高修正至 $\pm 10M$ 以內、夾差距離至 $\pm 50M$ （距離好）即下達效力射，且取得概定距離後即

不再修正距離。

(二)改良方案 1 法則：初發射角不含 $20/R$ ，修正瞬發射彈至獲得夾差距離至 $\pm 50M$ （距離好），改行空炸試射後，不再修正距離，僅修正炸高至獲得炸高修正小於 $\pm 10M$ ，即下達效力射。

(三)改良方案 2 法則(結合現行與改良方案 1 之作法)：初發射角不含 $20/R$ ，修正瞬發射彈至獲得夾差距離至 $\pm 50M$ （距離好），改行空炸試射後，仍依實際觀彈距離，最多修正 ± 50 ，並持續修正炸高，至獲得炸高修正小於 $\pm 10M$ ，即下達效力射。

二、執行構想

為確保試驗結果的獨立性，依據砲目遠、近、高、低之相對關係並設定隨意之差異數值，共計設置 4 種模擬情境，分別對應 3 種試驗方法，每種試驗法各別執行 5 次隨機射擊任務，每次隨機任務均產生 16 發隨機的效力射彈著點，綜整後各方案可得 320 發模擬結果（如圖 6），用以做為探討方案最終呈現及優劣分析的基礎。

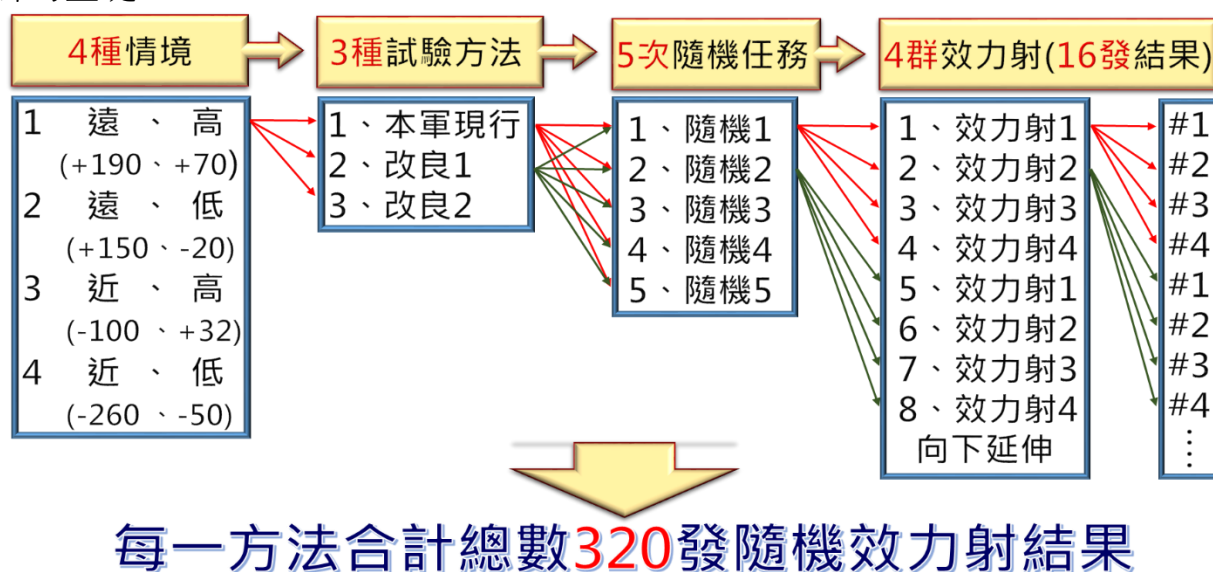


圖 6 模擬試驗執行構想示意圖

資料來源：筆者自行繪製

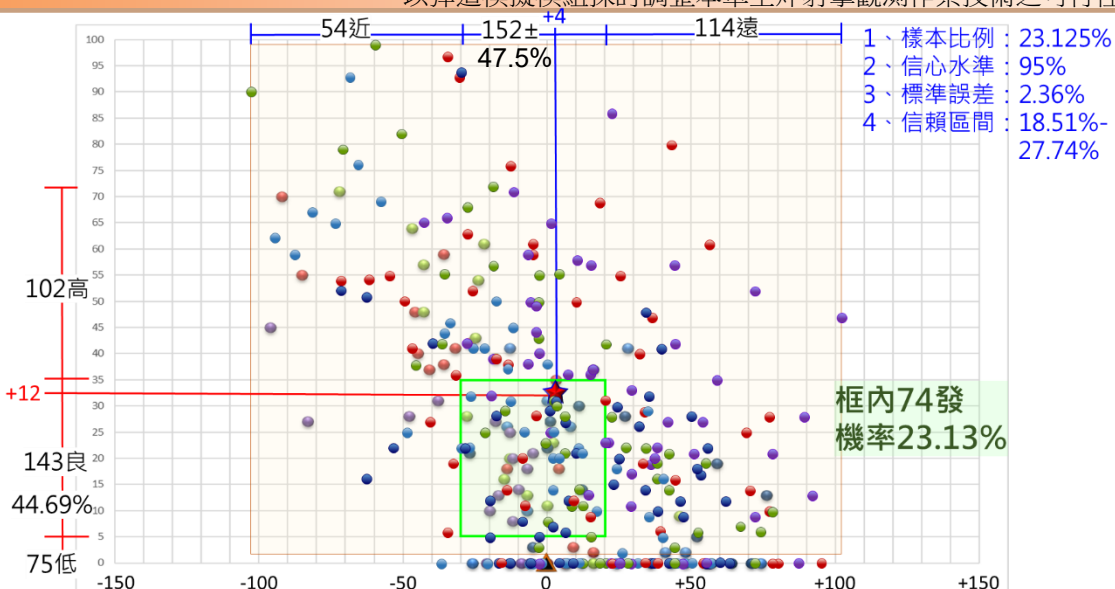
三、各方案試驗呈現結果

各試驗方案效力射階段分布結果如圖 7¹⁴，依改良方案 2 顯示之結果可表示為「依據 320 個樣本數，且在 95%的信心水準下，方案 2 進入最佳射擊效果範圍之機率為 28.44%，且誤差不超過 2.52%」或者「進入最佳射擊效果範圍之機率為 23.49%至 33.38%」¹⁵，若樣本數增加為 1280 個，則標準誤差可減半並縮小信賴區間，結果將越接近事件發生的真實機率。

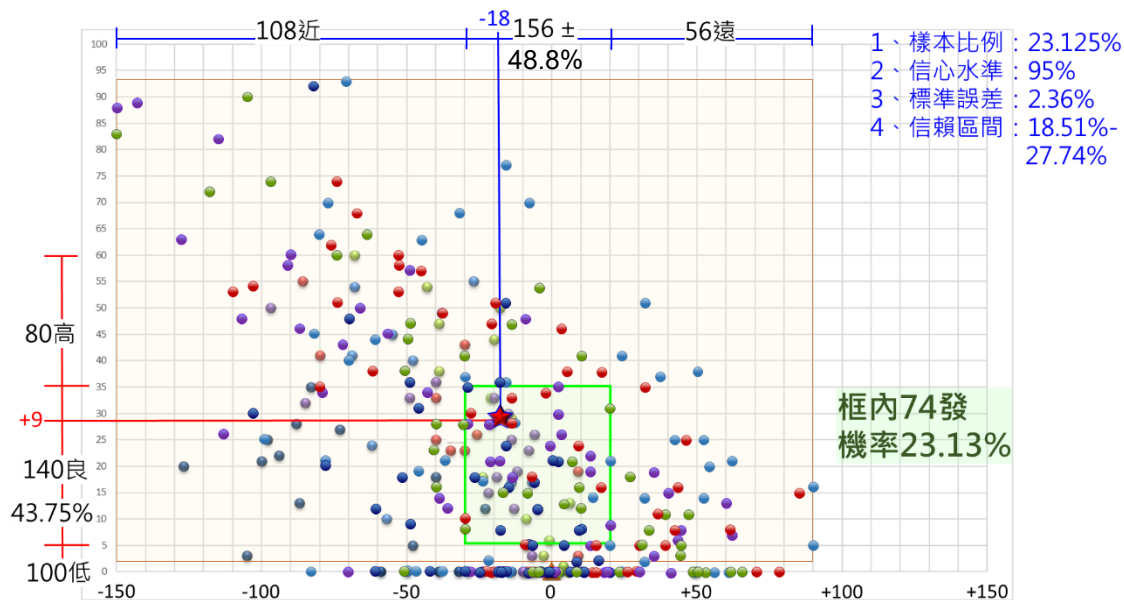
¹⁴模擬試驗全數射彈結果均記載於統計資料表內，各情境、全方案，試射及效力射階段總射擊資料計 66 頁、1576 筆。

¹⁵林柏佐，《信賴區間與信心水準的解讀》（國立臺灣師範大學），頁 3。

現行作法



改良方案1



改良方案2

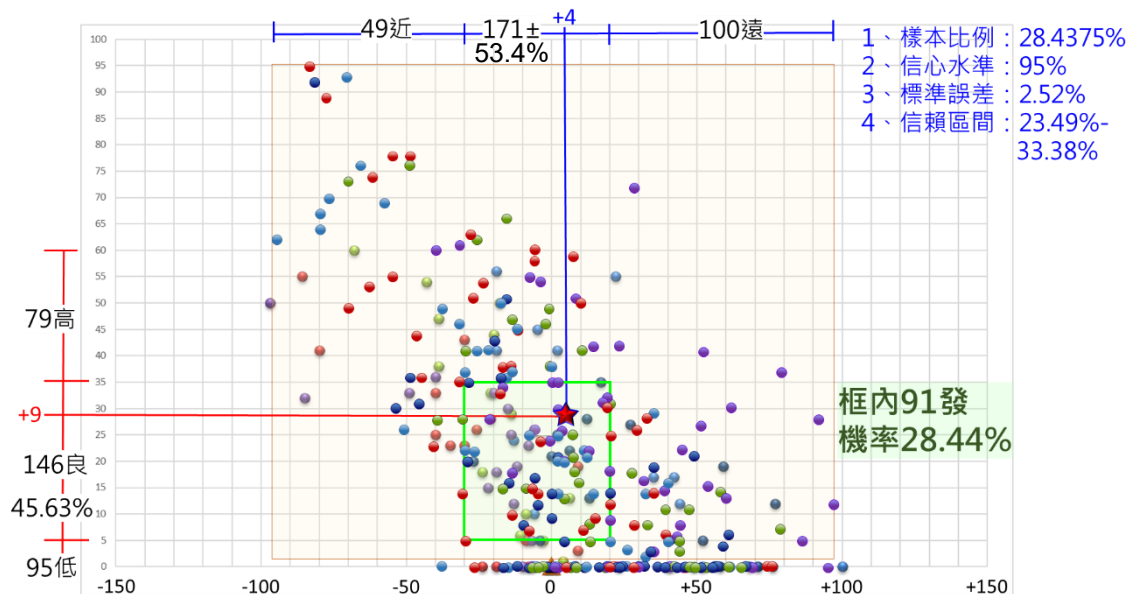


圖 7 各方案試驗結果分布圖(效力射階段)

資料來源：筆者以彈道模組自行整理及繪製

四、提取有效數值，實施成果分析

(一)界定「最佳射擊效果框」範圍：

- 1.炸高範圍界定：空炸信管因散布關係很難獲致理想高度之炸點，若 1 倍炸高公算偏差不超過 15 公尺，在獲得 20 公尺良好炸高後，可確保後續獲得空炸機率大於 80%，將空炸範圍界定於「5 至 35 公尺」之區間，空炸於此區間之機率為 50%¹⁶。
- 2.破片殺傷縱深界定：依據觀測訓練教範第四章第三節「殺傷率」章節內容，選定 E 區之殺傷縱深範圍（如圖 8 及表 5），且在同一狀況下射擊，使用近發信管所獲之傷亡百分比，常較空炸信管者為大（如表 6），若要以空炸信管獲得與 VT 信管相同之傷亡公算因數，則其殺傷縱深應較 VT 信管為小，然而無論選擇何區塊，套用於各方案均為相同試驗條件。

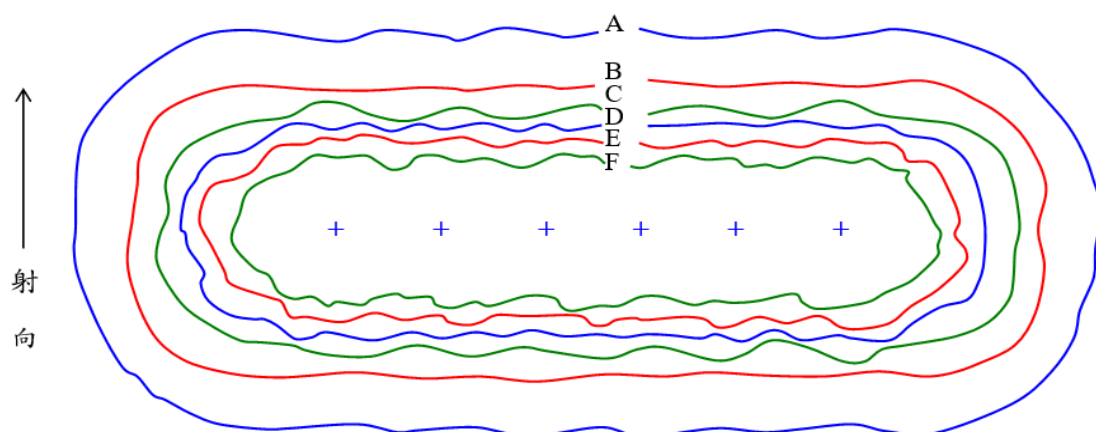


圖 8 砲兵連彈群殺傷效力界範圍

表 5 砲兵連一群射彈涵蓋範圍及傷亡百分比統計表

火 砲	依圖 8 所畫之地區	傷亡公算因數	總面積 (平方公尺)	縱深 (公尺)	橫寬 (公尺)	預期傷亡百分比
一〇五公厘榴砲；VT；火砲數 6；炸點間隔，30 公尺	A	0.001	32,926	155	190	1.8
	B	0.005	24,322	120	180	2.4
	C	0.010	18,928	100	175	2.8
	D	0.020	13,075	75	165	3.4
	E	0.030	9,144	55	155	3.8

表 6 砲兵連一群射彈涵蓋範圍及傷亡百分比統計表

單位	裝藥	距離	彈群	傷亡累積百分比	
				近發	空炸
105 公厘榴彈砲營	5	5,100	1	8.0	6.9
			2	13.4	9.9

資料來源：圖 8、表 5、表 6 均取自陸軍野戰砲兵觀測訓練教範，頁 4-68、頁 4-69 及頁 4-110。

¹⁶同註 3，頁 4-91。

另任何單發砲彈空炸時，除高射界射擊外，不論何種口徑，其破片在地面上散布之狀況，均概略成蝶形，並稱為「砲彈（蝶形）效力界」（如圖 9）。其破片之大部份均散飛於射彈正下方及其兩側之地面，一部份破片則散飛於彈丸前方，形成顯明之第二有效殺傷地區，稱「前方散飛」¹⁷，因此界定殺傷縱深範圍為近 30m 至遠 20m，若獲得較目標為近之空炸射彈，亦因第二殺傷區而獲得些許殺傷補償，結合界定之炸高範圍區間，所得效果框範圍如圖 10。

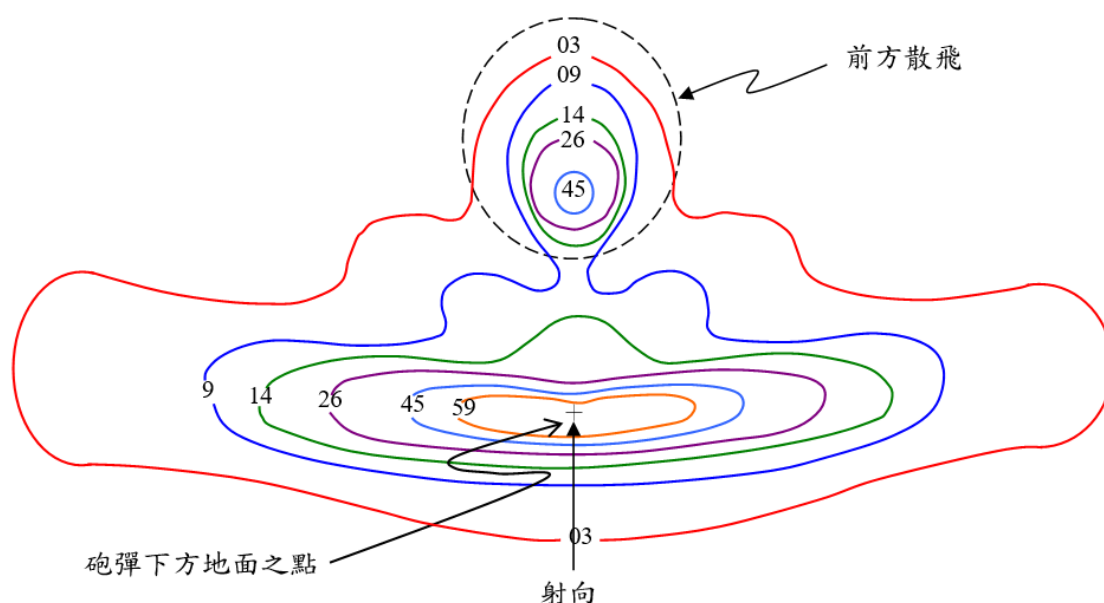


圖 9 砲彈（蝶形）效力界

通過目標上方20公尺標準彈道

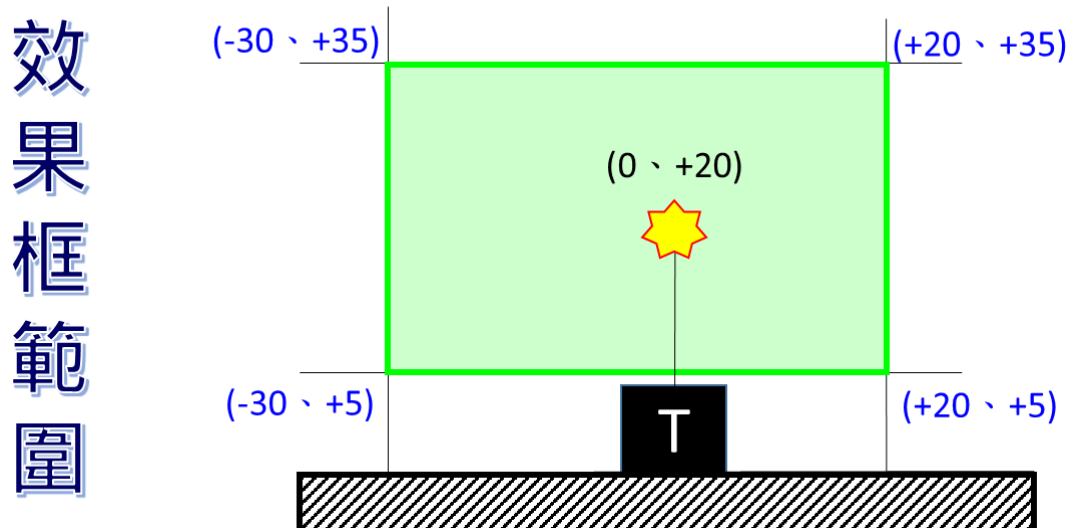


圖 10 界定最佳射擊效果範圍示意圖

資料來源：圖 9 取自陸軍野戰砲兵觀測訓練教範，頁 4-68；圖 10 為筆者自行繪製。

(二)隨機散布與標準彈道之效力射諸元誤差比較：

¹⁷同註 3，頁 4-66。

將各方案於各情境射擊任務之平均效力射諸元與真實彈道諸元比較，若誤差越小，即代表效力射彈著越能靠近所望射擊效果框，且若每次射擊任務進入效力射之諸元範圍越小，則代表隨機射彈飛散範圍較密集，有助於射效，兩者均以改良方案 2 表現最佳，改良方案 1 較差（如下表）。

區分		4 種情境				平均誤差	比序	效力射諸元範圍	比序
		1 (近、高)	2 (遠、低)	3 (遠、高)	4 (近、低)				
現行作法	射角誤差(密位)	-0.947	+4.291	+2.858	+0.562	+1.691	2	5.238	2
	信管時間誤差(秒)	-0.002	+0.22	+0.137	-0.049	+0.077	2	0.269	2
改良 1	射角誤差(密位)	-5.117	-1.479	-6.293	+1.685	-2.801	3	7.978	3
	信管時間誤差(秒)	-0.183	0	-0.27	+0.08	-0.093	3	0.35	3
改良 2	射角誤差(密位)	-1.184	+1.955	+1.466	+0.046	+0.571	1	3.139	1
	信管時間誤差(秒)	-0.002	+0.073	+0.137	+0.015	+0.056	1	0.139	1

(三)獲得 5-35 公尺理想炸高結果比較：

機率越高代表取得概定距離所相應之信管時間以及高低修正量數值越正確，以改良方案 2 表現最佳，改良方案 1 較差（如下表）。

區分		4 種情境				平均機率 46.61%	比序
		1(近、高) 53.29%	2(遠、低) 40.76%	3(遠、高) 44.91%	4(近、低) 47.47%		
現行做法	發數	35	31	33	44	44.69%	2
	機率	43.75%	38.75%	41.25%	55%		
改良 1	發數	41	32	25	42	43.75%	3
	機率	51.25%	40%	31.25%	52.5%		
改良 2	發數	45	29	32	40	45.63%	1
	機率	56.25%	36.25%	40%	50%		

(四)隨機散布平均彈著點誤差比較：

將各方案於各情境射擊任務之效力射平均彈著點與射擊效果框比較，探討各方案之平均彈著點與目標上空 20 公尺所望炸點接近之程度及進入射擊效果框次數，平均徑誤差越小代表平均彈著點越接近所望炸點，兩者均以改良方案 2 表現最佳，改良方案 1 較差（如下表）。

區 分		4 種情境				平均 徑誤差	比序	平均彈著 點未進效果 框次數	比序
		1 (近、 高)	2 (遠、 低)	3 (遠、 高)	4 (近、 低)				
現 行 做 法	距離誤差 (公尺)	-4	+24	+7	-3	15.93M	2	1	2
	炸高誤差 (公尺)	+8	+19	+15	+7				
改 良 1	距離誤差 (公尺)	-33	-4	-52	+27	31.47M	3	2	3
	炸高誤差 (公尺)	+6	+10	+16	+3				
改 良 2	距離誤差 (公尺)	-1	+4	+7	+6	10.7M	1	優 0	1
	炸高誤差 (公尺)	+7	+15	+12	+2				

(五) 進入效力射所需群數與進入效果框機率比較：

綜整各方案隨機模擬之結果，以改良方案 2 進入所望射擊效果框之機率最高，惟試射所需群數較現行作法及改良方案 1 多 1 群（如下表）。

區 分		4 種情境				進框 機率 39.23%	比序	進入效力射所需群數				平均 群數	比序
		1 (近、 高) 40.58%	2 (遠、 低) 38.35%	3 (遠、 高) 38.84%	4 (近、 低) 39.16%			1	2	3	4		
現 行 做 法	發數	26	11	12	25	23.13%	2	3.8	3.2	3.6	3.2	3.5	1
	機率	32.5%	13.75%	15%	31.25%								
改 良 1	發數	24	20	11	19	23.13%	2	5	4.6	3.8	5	4.6	2
	機率	30%	25%	13.75%	23.75%								
改 良 2	發數	32	17	16	26	28.44%	1	5	4.8	4	5.2	4.8	3
	機率	40%	21.25%	20%	32.5%								

五、小結

(一)就射擊程序而言，本軍現行作法初發以空炸信管射擊，觀測人員同時修正炸高與距離，若初發彈著距離目標過遠或炸高過高者，可能難以做實際及準確之射彈觀測及修正，產生誤觀測或誤修正，而徒增試射次數；若以瞬發信管試射，則可縮小試射階段射彈分布範圍（如圖 11），修正射彈至接近目標之概定距離後，再修正炸高，以實際射彈觀測執行面而言，較為確實且準確。

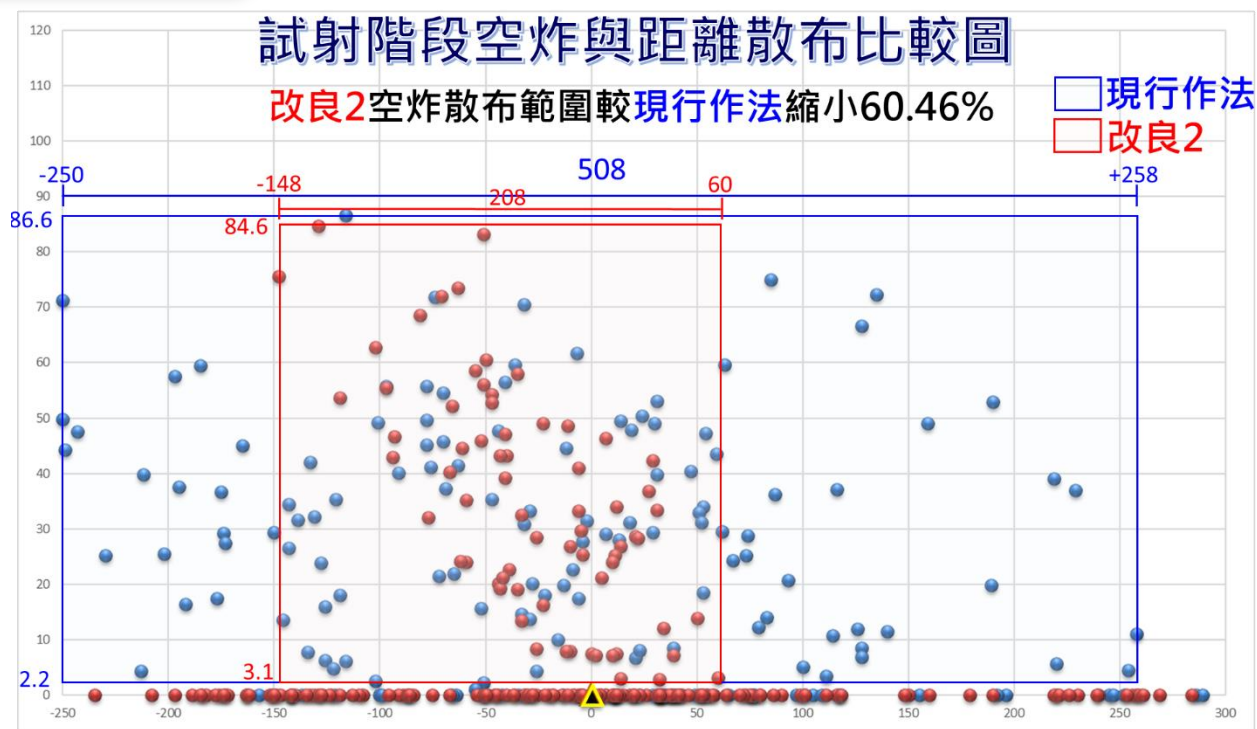


圖 11 現行與方案 2 試射階段射彈散布分布圖

資料來源：筆者以彈道模組自行整理及繪製

(二)諸多比較中改良方案 1 表現均為最差，探究其原因為該方案先以瞬發信管取得概定距離後不再修正距離，惟該距離可能為距離散布所致，而獲得非接近目標之概定距離，又本軍炸高修正之作法，係以調整火砲高低諸元，於試射階段必定會改變每群射彈之彈道，此時的散布又額外加上因炸高散布所產生的距離誤差，使彈著分布情形更加複雜，由試驗結果得知是否獲得較正確之概定距離，對於空炸射擊成效影響甚鉅。

(三)承二點，若要改善方案 1 之結果，則增加限制因素如下：

- 1.未構成遠近夾差前之距離好，其概定距離與目標真實距離之平均誤差較大。
- 2.依該群（距離好）明確之平均距離判定遠近彈，實施距離修正，可縮小誤差，惟與準則獲得距離好不修正之規範不符。
- 3.若該群（距離好）平均距離與目標距離誤差在單發射彈有效殺傷縱深內（105H 為 $\pm 10M$ ），以原距離補打 1 群，若仍為相同結果，可判定距離好，所得誤差較小。

(四)承二、三點，探討改良方案 1 限制因素之解決方法，進而產生改良方案 2 之作法，說明如下：

- 1.以往實彈射擊經驗，在實施瞬發距離修正時，必須思考距離散布所產生

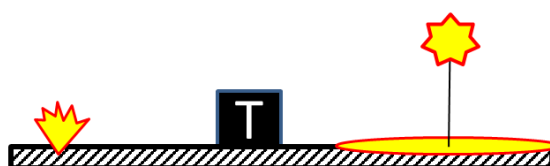
之結果，「眼見不一定為憑」，然而進入空炸射擊階段，射彈散布已經由平面散布轉為立體空間散布，且炸高散布又連帶產生破片落地效力面之距離誤差並且與距離散布同時作用，使彈著分布情形更加複雜，觀測人員已難再加入更多判斷思維，此時過多的限制因素及修正法則，反而會造成更大負擔且易產生混亂。

2. 在現有作業基礎，不做過多調整之原則下，思考改良方案 1 之解決方法，即初步取得概定距離後，改以炸高修正為主，並對修正後改變之彈道，持續實施微幅距離修正（因此時彈著已接近目標區，距離修正最多不超過 ± 50 公尺），由試驗結果得知此法獲得正確概定距離之機率較高，並且可解除改良方案 1 所有限制。
3. 若信管時間散布較大（比對射表資料 M520 較 M564 時間散布為大），可能導致觀測視界內 1 群試射彈（2 發）間炸高及距離落差甚大，而準則並未明確說明諸多現象（如圖 12）對應之修正作法，於改良方案 2 中，觀測人員可採直接修正法則（眼見為憑），無須加入過多修正法則，即可獲致較大成功公算，並且可加速射彈修正時間。

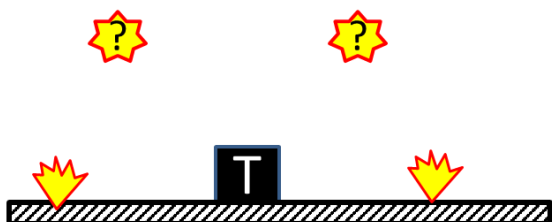
1、空炸近彈、著發遠彈
(直接判定距離好)



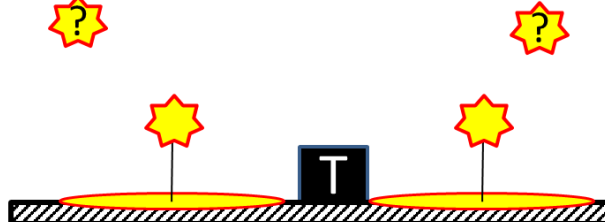
2、空炸遠彈、著發近彈
(直接判定距離好)



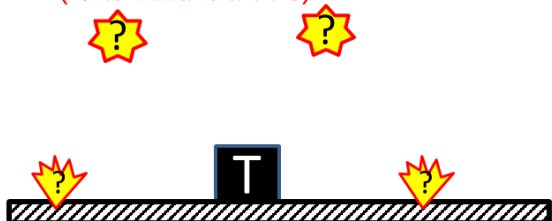
3、空炸過高無破片落地效力面
(直接依著發彈判定遠近彈)



4、僅能看到單發破片落地效力面
(直接依落地效力面判定遠近並修炸高)



5、空炸超高，構成之混合
(不修距離及炸高)



6、空炸超高，構成之空炸
(依可觀測空炸彈實施距離及炸高修正)

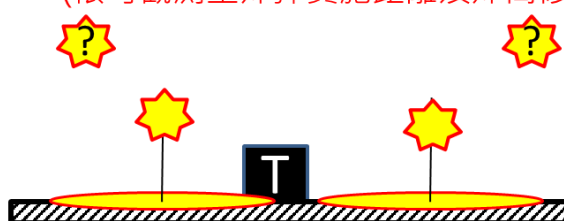


圖 12 直接修正法則示意圖

資料來源：筆者自行繪製

結論與建議

一、結論

改良方案 2（初發瞬發修正至概定距離，改行空炸試射，至獲得良好炸高效力射，期間持續修正射彈距離）結合了美軍及本軍現行作法並改善方案 1 之缺點，依據試驗綜合結果，可評估調整為本軍空炸射擊觀測作業技術之作法，另外在獲得修正量（含時間修正量），以決定諸元發射之射彈已非常接近目標，最多僅需試射 1 至 2 發即可效力射之情況下，可直接以空炸信管射擊，觀測人員同時修正距離及炸高，保持速度與精度之彈性。

另外，筆者在模擬試驗過程中深切體認「工欲善其事、必先利其器」，畢竟 EXCEL 並非專業彈道計算及分析軟體，在使用上仍然需要以人工採多項步驟操作方式完成，依蒙地卡羅法試驗精神，非常耗費時間成本，然而逐筆紀錄、統計、分析試驗資料雖然耗神及耗時，卻非整個試驗過程中最為困難之部分，而是準則未明確說明特定射彈結果之修正法則，導致試驗條件不一致而重行試驗，對此筆者依試驗所得結論提出相關建議如下。

二、建議

（一）陸軍野戰砲兵觀測訓練教範第三至五章之內容甚為寶貴實用，對於彈道特性、散布及射擊概念做了詳細解釋，吾人均應詳讀以提升見解，相關內容亦為彈道模組發展之基礎。

（二）雖然彈道模擬各試驗條件已盡可能設想周到，力求客觀的呈現各方案最終趨勢，若可藉實彈射擊驗證，定可做為修正方案有力之依據，然而實彈射擊驗證需要確保之變因繁多，舉如同火砲條件、相同彈藥品質、相同膛外因素影響等，稍有不慎即影響試驗結果，而浪費人力、物力，因此，若新式砲兵觀測模擬器內具備彈道參數、環境影響等更加詳細的設定功能，除使彈道表現趨近於非標準狀況之現實環境，更可以實際畫面及飛行數據體現各方案最終結果，進而取代實彈射擊試驗。

（三）依本次試驗呈現之結果，尚發掘原準則未明確敘述而有疑義之條文計 2 條，可納為準則驗證條文，待後續實彈射擊及新式觀測模擬器驗證成果，可作為觀測訓練教範修訂之依據，修正建議如下：

1. 條文第 06032 試射

（1）原條文：空炸射擊須將炸高提高至良好位置，或經修正後之炸高必屬良好者，始可進入效力射，如最後一群為著發者，不應進入效力射。

（2）修正原因：未明確律定進入效力射前之炸高允許修正量（如美軍為 40 公尺以內）。

（3）試驗說明：選擇符合態樣之試驗結果（如下表，取自試驗統計表），炸高

修正至 20 公尺以內進入效力射之射角誤差雖較修正至 10 公尺以內為大，惟兩者誤差甚微，因此炸高修正至 20 公尺以內效力射，可節省彈藥及時間，並獲得不遜於修正至 10 公尺以內之結果。

炸高修正至20公尺以內		射角誤差	時間誤差	炸高修正至10公尺以內		射角誤差	時間誤差			射角誤差	時間誤差		
	1	3.545	-0.123		1	4.197	0.179	17	-3.793	-0.178	33	3.786	0.137
	2	-3.584	-0.123		2	-5.96	-0.123	18	0.092	0.144	34	1.593	-0.178
	3	-4.333	0.137		3	-2.396	-0.123	19	1.169	0.144	35	-2.716	-0.178
	4	2.626	0.137		4	-2.396	-0.123	20	1.169	0.144	36	3.324	0.144
	5	-2.716	-0.178		5	0.633	0.179	21	0.633	0.179	37	4.401	0.144
	6	0.092	0.144		6	0.936	0	22	-2.396	-0.123	38	-5.96	-0.123
	7	4.401	0.144		7	1.934	0	23	-0.02	-0.123	39	-2.396	-0.123
	8	-1.744	0.179		8	-2.357	0	24	-3.584	-0.123	40	-2.396	-0.123
	9	-5.96	-0.123		9	10.422	0.366	25	0.633	0.179	41	0.936	0
	10	-3.173	0.137		10	-1.259	0	26	-0.162	0	42	-2.357	0
	11	-2.014	0.137		11	-0.854	0.137	27	-0.162	0	43	-2.357	0
	12	-3.584	-0.123		12	4.946	0.137	28	5.327	0.366	44	-1.259	0
	13	0.092	0.144		13	2.626	0.137	29	-0.854	0.137	45	0.092	0.144
					14	1.466	0.137	30	4.946	0.137	46	1.169	0.144
					15	-0.854	0.137	31	3.786	0.137			
			16	1.593	-0.178	32	2.626	0.137					

(4)建議修正：空炸射擊須將炸高提高至良好位置，或經修正後(炸高修正量小於 20M(含))之炸高必屬良好者，始可進入效力射，如最後一群為著發者，不應進入效力射。

2.條文第 06023 射彈修正

(1)原條文：應視混合狀況是否正常，做適當修正，例如一發炸點甚高之空炸與一發著發形成之混合，往往不提高炸點，後群反而能得到較理想之炸高。

(2)修正原因：修正條文用語，使之更為準確。

(3)試驗說明：選擇符合態樣之試驗結果（如下表，取自試驗統計表），當觀測到炸高甚高之射彈（良好炸高 20 公尺 + 2 倍炸高公算偏差 30 公尺(2 X 15) + 非正確概定距離產生之射角及信管時間誤差而連動影響炸高誤差 10 公尺，計 60 公尺以上）所形成之混合，觀測官可假設應為時間公算偏差過大所導致，不實施距離及炸高修正，以原諸元再行射擊 1 群，後群反而較能獲得可為炸高修正依據之觀測結果。

第 1 群	FDC 射擊諸元				第 3 砲	射 CD	-0.9	射 CD	2.2	修正報告		不予修正
	圖上距離	4200	仰度	382.688		初時	炸高甚高產生之混合	距離	炸高	距離	炸高	
第 2 群	時間	18.991	射角	396.835	第 3 砲	距離	炸高	砲	距離	炸高	修正報告	
	時間	18.991	射角	396.835		4249	V	?	86.6	OV	修正報告	
第 2 群	FDC 射擊諸元				第 3 砲	射 CD	1.5	射 CD	0.9	修正報告		不予修正
	圖上距離	4200	仰度	382.688		初時	次群較為可觀測修正	距離	炸高	距離	炸高	
第 2 群	時間	18.991	射角	396.835	第 3 砲	距離	炸高	砲	距離	炸高	修正報告	
	時間	18.991	射角	396.835		4156	47.7	?	54.6	4156	51.2	

第1群	FDC 後續修正				第3砲	射 CD	-0.2		射 CD	-1.5	修正報告	
	圖上距離	4600	仰度	438.595		初時	炸高	甚高產生之混合	距離	炸高	距離	炸高
第2群	時間	21.523	射角	456.711	第3砲	距離	炸高	砲	距離	炸高	Ⓔ	
	時間	21.523	射角	456.711		?	60.5		4568	V	4568	
第2群	FDC 射擊諸元				第3砲	射 CD	1.5		射 CD	0.8	修正報告	
	圖上距離	4600	仰度	438.595		初時	炸高	次群較為可觀測修正	距離	炸高	距離	炸高
第2群	時間	21.523	射角	456.711	第3砲	時間	-0.8	4	時間	-1.2	+50	⊟20
	時間	21.523	射角	456.711		距離	炸高	砲	距離	炸高	4526	42.4
第2群	時間	21.523	射角	456.711	第3砲	距離	炸高	砲	距離	炸高	4526	42.4
	時間	21.523	射角	456.711		4529	44.5		4523	40.3	4526	42.4

(4)建議修正：應視混合狀況是否正常，做適當修正，例如一發炸點甚高之空炸與一發著發形成之混合，往往不提高炸點，後群反而較能獲得可為炸高修正依據之觀測結果。

參考文獻

- 一、《Field Artillery Manual Cannon Gunnery(TC 3-09.81)》(Washington,D C，2016年4月)。
- 二、《Observed Fires(ATP 3-09.30)》(Washington,DC，2017 年 9 月)。
- 三、《Field Artillery Gunnery(FM6-40)》(1974年7月)。
- 四、《陸軍野戰砲兵觀測訓練教範》(桃園：國防部陸軍司令部，民國111年10月28日)。
- 五、維基百科，〈[https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/M119 howitzer](https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/M119_howitzer)〉，2024 年12月4日。
- 六、維基百科，〈<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/常態分布>〉，2024 年9月29日。
- 七、維基百科，〈<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/蒙地卡羅方法>〉，2024 年12月9日。
- 八、嚴章庚、祁戴康，《射表技術》(北京：國防工業出版社，2000年1月)。
- 九、林柏佐，《信賴區間與信心水準的解讀》(國立臺灣師範大學)。

作者簡介

林政諭少校，陸軍官校 93 年班機械系，歷任觀通組長、副連長、連長、參謀主任，現任職陸軍砲兵訓練指揮部射擊教官組。