

陸軍砲兵季刊

ARMY ARTILLERY QUARTERLY



提升火砲射向賦予效率及射擊速度之我見
精進砲兵檢驗射擊方法研析
多領域作戰在城鎮區之考驗

陸軍砲兵季刊

目 錄

▲野戰砲兵技術研究

01 提升火砲射向賦予效率及射擊速度之我見

吳皇慶

22 精進砲兵檢驗射擊方法研析

朱慶貴

30 使用 EXCEL 建構近似射表標準空氣數值之彈道模組

林政諭

54 軍事作業研究之火協作戰效能綜述：武器作戰效能、武器-目標分配及演算法應用

萬忠孝、萬德威

72 從編裝務實探討聯合兵種營火協機制

李志虎

▲野戰防空砲兵技術研究

86 實彈射擊常見問題與策進作為－復仇者飛彈系統

楊培毅

▲譯粹

98 多領域作戰在城鎮區之考驗

劉宗翰

▲徵稿簡則

▲撰寫說明

第 193 期
中華民國 110 年 6 月號

宗旨

本刊定位為野戰砲兵及野戰防空專業論壇，採季刊方式發行，屬政府出版品，供專家學者、現備役官兵發表及傳播火力領域專業知識，並譯介國際砲兵新知。

聲明

- 一、發行文章純為作者研究心得及觀點，本社基於學術開放立場刊登，內容不代表辦刊單位主張，一切應以國軍現行政策為依歸，歡迎讀者投稿及來信指教。
- 二、出版品依法不刊登抄襲文章，投稿人如違背相關法令，自負文責。

本期登錄

- 一、國防部全球資訊網
<http://www.mnd.gov.tw/PublishMPPeriodical.aspx?title=%E8%BB%8D%E4%BA%8B%E5%88%8A%E7%A9&id=14>
- 二、政府出版品資訊網
<http://gpi.culture.tw>
- 三、國立公共資訊圖書館
<https://ebook.nlpi.edu.tw/>
- 四、HyRead 臺灣全文資料庫
<https://www.hyread.com.tw>
- 五、陸軍軍事資料庫
<http://mdb.army.mil.tw/>
- 六、陸軍砲訓部砲兵軍事資料庫
http://web.aams.edu.mil.tw/dep/lib/aams_academic.htm

發行

陸軍砲兵訓練指揮部

發行人：程詣証
社長：莊水平
副社長：曾慶生 李昌展 王石朋
總編輯：蘇亞東
主編：張晉銘
編審委員：洪堯璵 袁驛安 鄒本賢 唐承平
王聖元 田英哲 錢宗旺 郭春龍
安全審查：宋欣橋
攝影：莊筱瑩
發行日期：中華民國 110 年 6 月 30 日
社址：臺南永康郵政 90681 號
電話：軍用 934325 民用 (06) 2313985
定價：非賣品
ISSN：2221-0806
GPN：4810400164



封面照片說明：陸軍砲兵訓練指揮部所屬雷霆 2000 砲車於民國 109 年操演實施射擊（照片提供：國家中山科學研究院雷霆計畫室）

提升火炮射向賦予效率及射擊速度之我見

作者：吳皇慶

提要

- 一、「射向賦予」之目的，在使全連或全排火炮射向平行指向所望目標或地區，確保各砲火力不重疊並加大殺傷範圍，為砲兵部隊占領陣地後，須優先完成之重要工作，而人員操作快慢及作業偏差及錯誤，均影響火炮射擊支援速度、射彈精準度與友軍安全。
- 二、M2 方向盤主要運用於射向賦予、角度量測、搜索敵情、觀測射彈及觀測天體等作業，惟上述各項作業隨著國軍近年相關新式裝備或器材換裝，M2 方向盤幾乎僅剩砲兵陣地於射向賦予時使用，考量戰場景況及各項作業需求均不斷改變或調整，傳統方向盤漸無法符合現今科技化戰場環境。
- 三、世界各國新一代火炮均已搭載全球定位系統(GPS)與慣性導航系統(INS)，使各砲能獨立獲取射擊所需之定位定向資料，無須仰賴測量人員提供測地資料，除加快射擊整備速度及縮短相關作業時間外，亦可提升火炮射擊精度，增進整體火力支援效能。

關鍵詞：射向賦予、全球定位系統、慣性導航系統、火力支援效能

前言

「射向賦予」目的在使全連(排)火炮射向平行指向所望目標或地區，¹確保各砲火力不重疊且加大殺傷範圍，為砲兵部隊占領陣地後，須優先完成之重要工作，而人員操作快慢及作業偏差(程序錯誤)，均影響火炮射擊支援速度、射彈精(準)度與友軍安全甚鉅；基此，如何有效提升砲兵部隊射向賦予成效，確保射彈能迅速、精準命中敵軍目標或達成火力支援任務，並減少暴露於敵反砲兵雷達及火力威脅中，為現今高科技戰場上急需檢討之課題。本研究為筆者於砲訓部教學及各年度火炮射擊輔導過程，觀察國軍砲兵部隊現行射向賦予作法，分析相關優缺點，並參考各國先進技術，提出個人見解，希為國軍砲兵發展略盡棉薄。

國軍現行射向賦予方式及操作程序概述

火炮占領陣地後，不論以何種方式實施射向賦予，對各型火炮而言，其操作方式或程序大致相同，均運用平行線內錯角相同原理(圖 1)，依國軍現行作法可歸類為使用及不使用 M2 方向盤等兩大類，常用方式說明如次。

¹ 《野戰砲兵戰砲隊訓練教範》(桃園：陸軍司令部，民國 90 年 12 月 24 日)，頁 3-11。

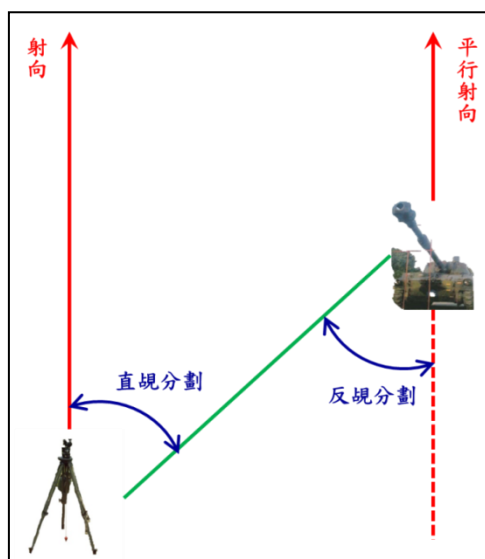


圖 1 射向賦予係運用平行線內錯角相同（直視分劃等於反視分劃）原理

資料來源：作者繪製

一、使用 M2 方向盤

（一）方向基角法（圖 2）：「方向基角」係自「砲檢線」²順時針測至「方向基線」³右端之水平夾角。⁴此角通常由測量班運用目標及火炮陣地中心座標等數據計算而出，為各種方法中精度最佳者；使用方向基角法賦予射向，必須先有方向基線及測量班測出之方向基角，並在線上標示選擇點（方向盤整置位置）及基線一端後，方可使用，而基線一端選定要領，⁵可能為獨立明顯之垂直地物、建築物邊緣或臨時設置之標桿，副連長或副排長操作程序概述如次。

1. 整置方向盤（圖 3）

（1）轉動方向盤上部，裝定方向基角（右手壓下解脫子先裝定本分劃，繼裝定輔助分劃）。

（2）轉動方向盤全部（大方向鬆開方向解脫子，小方向轉動方向微動螺）瞄準基線一端（此時方向盤黑色刻劃 0-3200 之線，即平行指向射向）。

（3）轉動方向盤上部（先將輔助分劃歸零，右手壓下解脫子），並下達「全連－瞄準點方向盤之口令」。

2. 賦予砲班射向

（1）自基準砲起逐次瞄向各砲瞄準鏡（瞄準物鏡中央），賦予各砲方向（如第三砲方向— $\times \times \times \times \times$ ）。

² 砲檢線係自陣地中心砲位至檢驗點之連線，參照《陸軍野戰砲兵測地訓練教範》（桃園：陸軍司令部，民國 107 年 8 月 14 日），頁附 1-8。

³ 方向基線為提供火炮射向賦予所設置之方位地線，由「選擇點」與「方向基線之一端」構成。通常由砲兵排、連與測量官協調決定。

⁴ 《陸軍野戰砲兵測地訓練教範》（桃園：陸軍司令部，民國 107 年 8 月 14 日），頁 7-24。

⁵ 同註 4，頁 7-23。

(2) 聞各砲瞄準手報「第×砲好，準備檢查」之口令後，再次瞄準，並賦予新的方向，直至瞄準手報「誤差么(1)」或「誤差洞(0)」時，即報「第×砲射向賦予完畢」，待全連(排)射向賦予完畢後，接續下達射向標定(插標桿或設置標定儀)口令。

3. 餘砲手及相關細部動作請參閱各型火砲操作手冊。

(二) 方位角法(圖4):「方位角」係以「方格北」為基準，順時針測至「檢驗點」或目標所成之水平角，此角可藉器材、地圖及空照圖等測取，⁶並由連長或射擊指揮所給予，此法較能適用於任何時機，惟方向盤磁針易受磁電感應，影響精度，故選定方向盤位置及整置時，均須注意與相關設施或裝備距離(表1)，副連長或副排長操作程序概述如次。

1. 整置方向盤

(1) 先以「磁針方格偏差常數」⁷(磁偏常數)減去「射向方位角」，求出「磁針分劃」後，將計算數值轉動上部裝於方向盤上(圖5)。

(2) 打開磁針解脫鉸，轉動方向盤全部使磁針歸北(此時方向盤黑色刻劃0-3200之線，即平行指向射向)。

(3) 轉動方向盤上部(先將輔助分劃歸零，右手壓下解脫子)，並下達「全連-瞄準點方向盤之口令」。

2. 賦予砲班射向(相關動作及程序同方向基角法)。

3. 各砲手及相關細部動作請參閱各型火砲操作手冊。

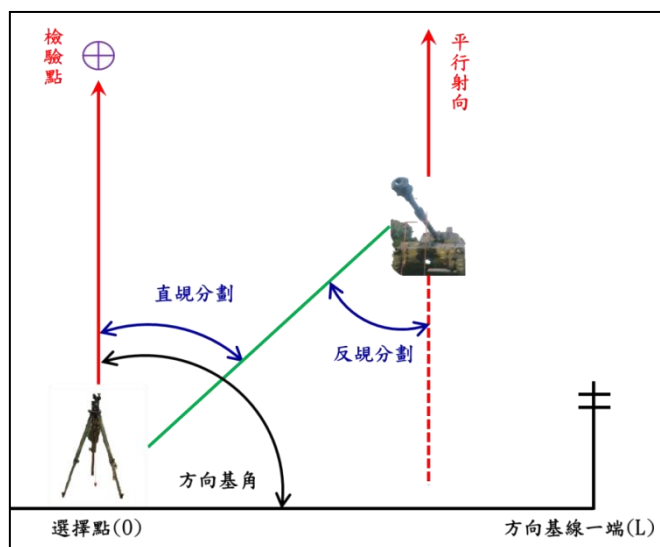


圖2 方向基角法圖示

資料來源：作者繪製

⁶ 同註1，頁3-14。

⁷ 「磁針方格偏差常數」係由方格北順時針測至磁北之水平角，其值常因時因地而異，故有偏東與偏西之分，參照《陸軍野戰砲兵測地訓練教範》(桃園：陸軍司令部，民國107年8月14日)，頁2-54。

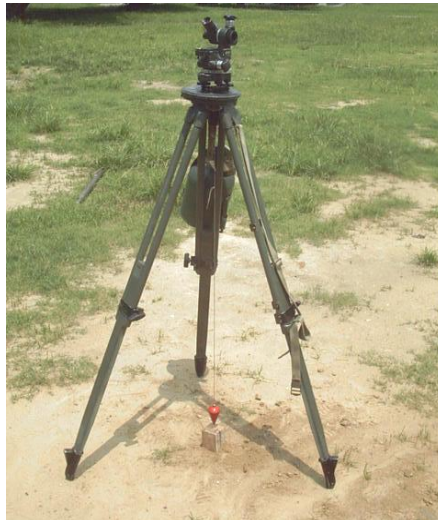


圖 3 方向盤垂球垂直於選擇點，水準氣泡居中，使 0-3200 之線概略指向射向

資料來源：《陸軍野戰砲兵測地訓練教範》

表 1 使用方位角法方向盤與金屬設施距離

項次	金屬設施或裝備	相距距離	備考
1	高壓電線（電塔）	150 公尺	
2	最重型火砲（240 公厘）	75 公尺	
3	重型（8 吋或加農砲）或中型火砲（155 公厘）	60 公尺	
4	輕型火砲（105 公厘）或車輛	40 公尺	
5	鐵絲網	10 公尺	
備註	方向盤整置位置須能通視全連（排）火砲，且與各砲標高差不可過大，避免影響直（反）覘作業。		

資料來源：作者整理

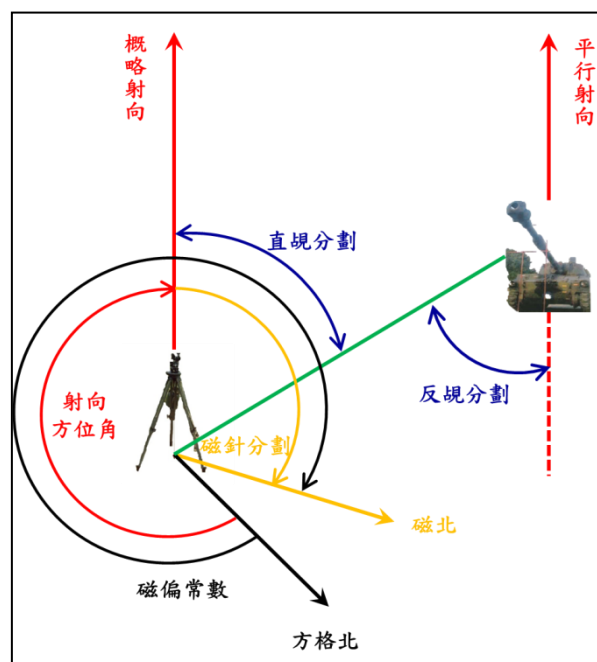


圖 4 方位角法圖示

資料來源：作者繪製

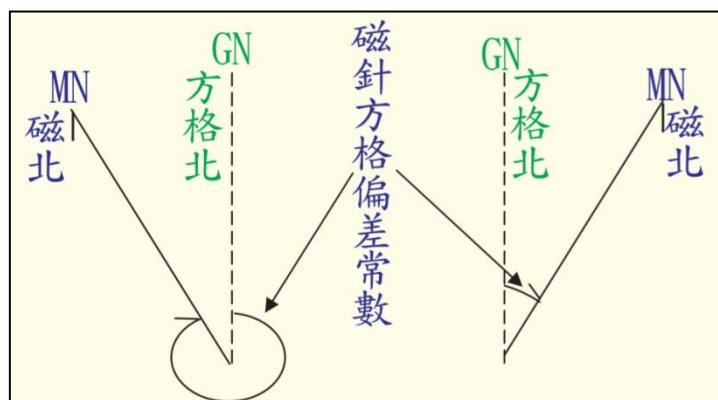


圖 5 磁針方格偏差常數圖示

資料來源：《陸軍野戰砲兵測地訓練教範》（桃園：陸軍司令部，民國 107 年 8 月 14 日）

二、不使用 M2 方向盤

（一）基準砲瞄準點法（圖 6）：以基準砲瞄準點法射向賦予時，陣地必須有一門火砲能直接通視瞄準點，該瞄準點以地圖或照相圖上可清楚、明確辨識之已知點為佳，連長於圖上量測由砲檢線至瞄準點之「方向角」給予陣地，副連（排）長再依砲瞄方向角賦予基準砲射向，最後再由基準砲以平行覘視法賦予其他各砲射向，使全連（排）射向平行（如尚未確定檢驗點，僅射向對正目標區域中央時，副連（排）長亦可自行選定瞄準點，決定概略砲瞄方向角），⁸此法通常在未獲得方向基角或射向方位角時使用；另砲瞄方向角為砲檢線順時針測至瞄準點之水平角，通常不得大於 3200 密位（因牽引砲瞄準鏡刻劃最多僅能裝定至 3200 密位），若大於 3200 密位時，須減去 3200 密位，其操作程序概述如次。

1. 副連（排）長以口令指示基準砲，使其裝定砲瞄方向角向瞄準點瞄準。例：「第×砲注意—瞄準點右前方××—方向—×××××」。
2. 基準砲瞄準手複誦口令，並裝定方向角於瞄準鏡上，轉動砲身（或調動架尾）覘視瞄準點後向副連（排）長報「好」，此時砲身已平行指向砲檢線或概略射向（圖 5）。
3. 副連（排）長下達「全連—瞄準點第×砲」之口令。
4. 各砲瞄準手聞「全連—瞄準點第×砲」口令後，複誦「瞄準點第×砲」，並將對物鏡轉向基準砲。
5. 基準砲依次賦予各砲方向，並複瞄檢查直至兩砲方向達「誤差么（1）」或「誤差洞（0）」時，即完成射向賦予。
6. 各砲手及相關細部動作請參閱各型火砲操作手冊。

⁸ 同註 1，頁 3-16。

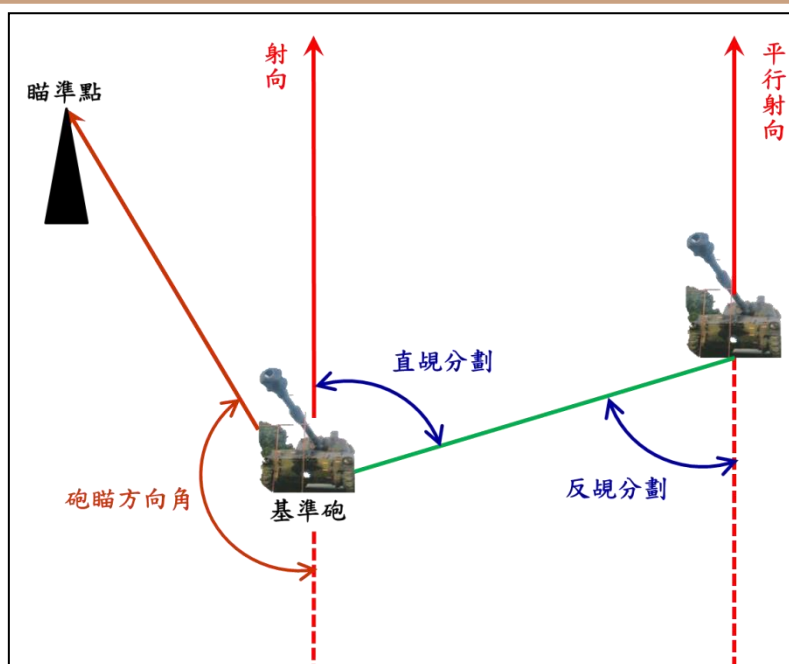


圖 6 基準砲瞄準點法

資料來源：作者繪製

(二) 自動定位定向系統：雷霆 2000 多管火箭系統搭載「SIGMA—30 定位定向系統」及 GPS (圖 7)，其射向賦予區分為使用定位定向器及人工作業兩種方式，惟人工作業耗力費時，且射彈誤差較大，如定位定向系統損壞時，非必要或戰時方能以 M2 方向盤進行射向賦予，針對使用定位定向器賦予射向之相關操作程序簡要說明如次。

1. 完成砲車定位定向器校準作業：定位定向系統內建四種校準模式，須依上級命令或配合使用時機進行操作，區分「標準模式」、「前筆資料」、「快速模式」及「GPS/CA」等四項作業模式，使用時機概述如次。

(1) 標準模式校準：時間餘裕時，且有正確之測地諸元即可實施，為目前最常使用及最準確方式，輸入位置資料時，砲車必須處於停止狀態，使用「標準模式校準」時，必須先將砲車行駛到測地統制點位置，此時 SIGMA—30 將依據此地理資料執行校準。

(2) 前筆資料校準：整備時間不足，無法使用標準模式校準時，可使用此方法，但須確定上次關機時所儲存的資料，為砲車當下停止的位置資料，且未曾移動過，否則定位定向器僅會讀取資料庫中最後一筆資料，即直接進行校準工作，若前次關機時無儲存資料，則定位定向器會因使用不正確資料，使後續校準發生嚴重錯誤。

(3) 快速模式校準：時間急迫及不需絕對精度，砲車於前次停車後，其砲車位置不變，上次關機後，確實點選「回到備便待命模式」並執行。砲車熄火後，砲車與發射架皆不再移動過，方能使用此方法校準。

(4) GPS/CA 模式校準：砲車上空無遮蔽物時，可使用此種方式校準，惟定位定向器所獲得之資料，與測地成果有約略誤差。⁹

2.接收射擊指揮車相關任務資料（含目標座標及氣象資料等）後，進入射擊陣地。

3.射控電腦運用火箭車及目標位置（座標），計算發射架射角及射向等相關諸元，接續執行自動化射向賦予及發射架調定作業，待令射擊。

4.火箭車完成「用砲」、「射擊諸元計算」與「自動調架」至定位後，即代表自動化射向賦予完成，如須修改射向，僅須重新輸入射擊諸元，再行「自動調架」，即可重新完成射向標定作業。

5.各砲手及相關細部動作，請參照《陸軍 TGS8×8 自走式雷霆 2000 多管火箭系統操作手冊》。

6.「SIGMA—30 定位定向系統」特性與限制問題

(1) 特性：本系統係使用雷射陀螺儀為基準之定位定向器，負責提供火箭砲車慣性導航、定位等資料及測定發射架控制模組所需方位角、高低角、傾斜角等數據，並可與其他模組連結，將相關資訊傳輸至射控計算機與架控系統運用；另定位定向器可依各型火箭彈射擊產生晃動大小，於最短時間內將發射架調回至初始射向，降低落彈散佈範圍。

(2) 限制：系統開始作業前，須利用精確測地統制點（已知點）實施初始校準，若無法獲得或精度不佳，將無法實施或影響導航精度；另 GPS 雖為系統次要輔助單元，其失效或收訊不佳雖不致影響定位定向器主要功能，惟部分功能仍受影響，因此仍須獲得必要之初始校準或位置更新資料，作為系統資料檢查或損壞、GPS 信號受干擾時使用。

(3) 定位定向器損壞之影響：火箭砲車定位定向系統損壞後，雖仍可以 M2 方向盤等各種人工操作方式實施射向賦予，惟均須由測量人員完成各選擇點及砲位座標等測地作業，並將相關數值提供射擊指揮車運用，以增進砲車射向賦予及射擊指揮車諸元運算精度；另定位定向器功能除提供火箭砲「射向」外，並能提供「砲車座標」作為「射角」諸元計算依據，人工射向賦予方式，僅能替代定位定向器賦予各砲「射向」功能，縱使測量班先行完成砲位量測，火箭砲車僅能概略停至量測砲位，因無最後「砲位座標」，無法運算最正確之砲目距離，將導致「射向」與「射角」諸元誤差，加上射彈散佈過大特性，將嚴重影響作戰效能及危安風險。

⁹《陸軍 TGS8 乘 8 自走式雷霆 2000 多管火箭系統操作手冊（第一版）》（桃園：陸軍司令部，民國 101 年 9 月 17 日），頁 4-351。



圖 7 SIGMA－30 定位定向系統器及 GPS 天線

資料來源：《陸軍 TGS8X8 自走式雷霆 2000 多管火箭系統操作手冊》

三、射向標定（使用數位瞄準鏡或自動化系統時不需實施）

傳統火炮完成射向賦予後，副連長（戰砲排排長）即指揮各砲依「標定分劃（表 2）」之方向（通常朝向火炮左前方或右後方，須視陣地狀況彈性調整）完成標桿或標定儀設置，作為火炮實施方向諸元裝定之瞄準點（基準線）；另完成標定分劃作業後，砲身不需再經反覘瞄準程序，即可指向最初賦予射向之方位，且此瞄準點或基準線亦可使射擊指揮所由該方向，進而求算未來對各目標射擊方向。標桿設置時，遠標桿須距離火炮 100 公尺，近標桿距離 50 公尺，若陣地幅員不足時，須確保近標桿位於遠標桿與火炮（瞄準鏡）中央；使用標定儀則須距離火炮 4-15 公尺（6-12 公尺可獲最佳效果）。

表 2 陸軍現有各型火炮及多管火箭標定分劃一覽表

牽引砲	標定分劃	自走砲（多管火箭）	標定分劃
105公厘榴彈砲	2600	M109 A2（A5）自走砲	3200
155公厘榴彈砲	2400	M110 A2自走砲	3200
155公厘加農砲	2600	雷霆2000多管火箭	2800
8吋榴彈砲	2600		
240公厘榴彈砲	2200		

資料來源：作者整理

M2 方向盤現況檢討

以往 M2 方向盤可運用於射向賦予、角度量測、觀測射彈及觀測天體（精度較經緯儀略差）等作業，惟上述各項作業隨著國軍近年相關新式裝備或器材換裝，M2 方向盤幾乎僅剩砲兵陣地於射向賦予時使用，考量全球科技日趨進步，戰場景況及各項作業需求均不斷改變或調整，傳統方向盤已逐漸不符現今科技化戰場環境，裝備現況檢討如次。

一、定向精度不佳：M2 方向盤實施定向作業時，係以「磁針」量測為主，「天體觀測」為輔，惟上述兩種定向方式所求得之「方位角」數值，易受人員

操作及作業環境等因素影響，精度易產生誤差。

二、磁針定向偏差：方向盤設置磁針，用以定向及量測方位角；惟磁針係以磁北為基準，利用「磁針方格偏差常數」(Declination constant，亦簡稱「磁偏常數」)將磁方位角轉換為「方格方位角」，供相關單位作業運用。惟磁北變化及影響磁針精度因素甚多，如磁性異常(生鏽)、水平不均、機件磨損及未實施「磁偏校正」或磁偏校正站數據錯誤等，均可能造成測地作業(定向)或以「方位角法」實施射向賦予造成精度不佳等問題。¹⁰

三、未具定位定向功能：使用「方向基角法」實施射向賦予時，方向盤須整置於選擇點位置，惟方向盤未具定位定向功能，須由測量人員採交會法及導線法等方式，求算選擇點、方向基角、陣地中心、砲檢方位角等座標與數值，惟量測資料繁雜，且須以人工方式計算、傳遞及輸入射擊指揮系統運用，費力耗時，並增加相關作業時間及錯誤風險。

四、分劃不夠精密及無數位顯示功能：方向盤方向及高低(俯仰)分劃均僅能裝定至 1 密位，雖與陸軍牽引砲瞄準鏡分劃相符，惟 M110 A2 及 M109 A2 (A5) 自走砲瞄準鏡均可裝定至 0.25 密位，高於方向盤分劃精密度，兩者差異較大影響兩型火砲射向賦予精度；另未具數位顯示功能，須以看(判)讀方式讀算諸元，易因看(判)讀錯誤而造成射向賦予嚴重偏差(例如輔助分劃為 99 密位時，本分劃容易看讀至次一分劃，即造成 100 密位誤差)。

五、未具夜視功能：夜間射向賦予時，因方向盤未具夜視功能，副連長或戰砲排排長須利用標線燈及指燈實施照明，以看讀方向盤各部分劃數值，而各砲瞄準手則須以週視鏡對準方向盤之「反覘體」，光源微弱不明及體積過小，不易相互瞄準，造成作業時間過長及射向偏差等狀況。

六、機械結構容易空迴：M2 方向盤屬光學與機械結構，且分劃度盤屬較易磨損之銅質「精密齒輪」，長時間使用或人員操作不當時，將造成內部齒輪異常磨損而產生間隙，¹¹實施射向賦予或相關作業時，即因空迴狀況而造成量測誤差。

現行作法對射擊整備速度及精度影響

一、對射擊整備速度影響

(一)傳統操作方式，增加作業時間：國軍現行射向賦予方式，無論是否使用 M2 方向盤，均須先行完成圖上射向方位角、砲瞄方向角量測或實施完整測

¹⁰ 耿國慶，〈跨越「方向盤」階段，邁向「數位化」目標之研究-以美軍為例〉《砲兵季刊》(臺南)，第 183 期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國 107 年第 4 季，頁 33。

¹¹ 吳嘉晉，〈精進 M2 方向盤測角精度之研究〉《砲兵季刊》(臺南)，第 146 期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國 98 年第 3 季，頁 42。

地作業取得方向基角等相關數值；待火砲進入陣地後，再迅速實施方向盤整置（依各射向賦予方式裝定所需數據）及以平行線原理逐次賦予各砲射向，以砲兵部隊目前鑑測標準概算，完成上述所有射向賦予程序所耗費時間約需 **3-5 分鐘**（表 3），且尚未包含完成其他射擊整備時間。

（二）陣地幅員受限，位置選擇不易：選擇點及方向盤位置須可通視各火砲瞄準鏡（牽引砲通常設置於陣地中央後方，自走砲則設置於陣地前方），惟受限於陣地形狀及幅員，部隊為了加快陣地占領時間，選擇點標示完畢後，未同步於各砲位反覘方向盤，火砲進入陣地，可能造成無法相互通視問題，須再費時調整火砲位置；甚或陣地無適宜通視各砲位置時，則需挑選 **2 個以上** 選擇點，並使用導引法實施射向賦予，增加測地作業及方向盤整置等時間，影響火力支援速度。

表 3 國軍常用射向賦予方式作業時間概算表

區分	使用時機	作業時間	鑑測標準
方向基角法	已獲取測地成果（方向基角、方向基線一端）。	單砲完成約 38秒 ，之後依筆者經驗常數概算，每門砲（目前砲兵排、連約 3-6門 砲）約增加 20-30秒 ，且可同時進行。	單砲完成射向賦予 38秒
方位角法	未獲取測地成果，須於圖上釘選目標及火砲陣地概略位置，進而量取射向方位角。	單砲完成約 1分16秒 ，之後依筆者經驗常數概算，每門砲約增加 20-30秒 ，且可同時進行。	單砲完成射向賦予 1分16秒
基準砲瞄準點法	無法使用方向盤，須於圖上釘選瞄準點及火砲陣地概略位置，進而量取砲瞄方向角。	圖上選取之瞄準點於現地須能通視，作業時間須受限於陣地現況，較難概算。	未訂定
備考	上述僅為各砲完成「射向賦予」動作，未包含射向標定（插標桿或設置標定儀）及射擊設備等整備工作。		

資料來源：作者自行整理

二、對火砲射擊誤差影響

（一）個人操作視差，影響射向數值：砲兵部隊於行軍過程或接獲命令迅速占領陣地，執行火力支援任務時，在沒有測地成果（方向基角及方向基線一端）狀況下，須以「方位角法」實施射向賦予，若發生方向盤位置選擇不當（過

於靠近易影響磁針之金屬物體)、磁針歸北動作不確實(個人視差或未將磁針確實歸北)或「磁針分劃」計算錯誤等易發狀況,將造成射向(彈)嚴重偏差,影響火力支援效果。

(二) 裝備機件磨損,造成空迴誤差:火砲實施射向賦予時,主要使用方向盤及瞄準鏡(含砲上鏡座)等光學裝備,並運用裝備內部機械齒輪及各式菱鏡相互作動、反射原理,惟長期使用或操作不當等狀況,均會造成一定程度的磨損(如未將方向輔助分劃歸零,即下壓解脫子大方向轉動本分劃),進而產生間隙及空迴,裝定相關諸元時,內部齒輪無法確實卡到定位或晃動,造成操作及瞄準誤差。

(三) 方向盤未校正,磁偏數值錯誤:方向盤內部磁針設計,於不同地區使用時,將受到地球南、北極磁偏影響而產生不同之磁編常數(方格北順時針量測至磁北之數值),且磁針方格偏差常數隨季節變化(太陽引力影響)而不同,若未定期實施校正作業,將造成磁針方格偏差常數錯誤及射向賦予偏差。

(四) 諸元計算錯誤,射向嚴重偏差:不論是否使用盤實施射向賦予,均須完成相關數值計算及諸元裝定動作,操作人員為求迅速,常發生計算或裝定錯誤狀況,使射向產生嚴重偏差,進而影響射擊安全。

三、對整體作戰運用影響

(一) 砲兵部隊受限於火砲性能(如未配備自動定位定向系統)及射向賦予作業條件,須以全連(排)為單位統一放列,陣地偵選不易及射擊整備時間較長,造成陣地變換頻次降低,且於現代高科技戰場上,火砲採集中放列方式,更易遭敵攻擊或以反砲兵雷達等手段反制,降低戰場存活,嚴重影響整體火力支援效能及作戰運用彈性;另砲兵火力運用主在迅速且精準提供戰場上所需火力支援,期能於最短時間予敵最大或有效之打擊,然欲達上述所望效果,現階段陸軍仰賴測量班運用「SPAN-7 定位定向系統」(圖 8)及「ULISS-30」定位定向系統」(圖 9)¹²實施相關作業。

(二) GPS 全球定位系統精度不斷提升,已廣泛運用於軍事裝備,未具定位功能在猝然作戰時,無法及時取得攻擊先機。現役火砲本身未具備定位定向能力,在時間餘裕下,可由測量班完成測地成果;然急迫占領陣地、無測地成果或測量裝備損壞時,倘依傳統射擊方法,在射擊時須先完成試射取得射擊修正量再行效力射,過程中常因觀測人員經驗不足或觀測誤判,逕而影響射擊精度;相對先期試射作為,除浪費彈藥數量及射擊時間冗長外,讓火砲陣地暴露在遭敵掌握及反制風險下。

¹² 《陸軍 SPAN-7 定位定向系統操作手冊》(桃園:陸軍司令部,民國 102 年 8 月 27 日),頁 2-2。

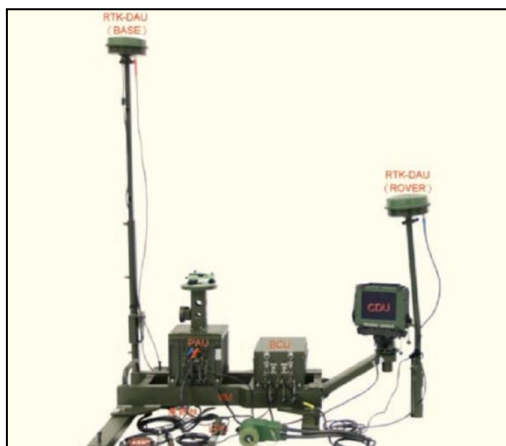


圖 8 「SPAN-7」定位定向系統

資料來源：《陸軍 SPAN-7 砲兵定位定向系統操作手冊》

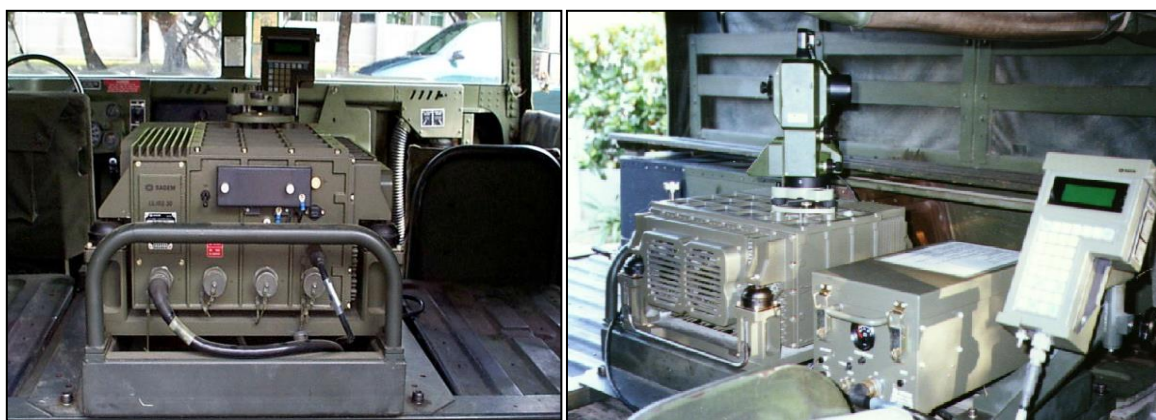


圖 9 「ULISS-30」定位定向系統

資料來源：http://mdb.army.mil.tw/Article_Show.asp?ArticleID=13584

四、小結

現階段國軍火炮仍須占領同一陣地，並以使用 M2 方向盤等傳統方式逐砲實施射向賦予，既耗時又費力，且無法單砲占領陣地獨立作戰，缺乏火力運用彈性；¹³另採用傳統人工作業及光學裝備等射向賦予方式，易產生作業時間較長、受限陣地幅員、個人操作誤差、裝備機件空迴、磁偏校正落差及諸元計算錯誤等問題，均影響射擊整備時間、速度及射彈精（準）度，且戰時於同一陣地停留時間過長亦增加遭敵反砲兵射擊風險，可見現行相關作法仍有精進空間。

各國新一代砲兵現行作法

一、自 1960 年起，美軍即陸續以 M2 及 M2A2 方向盤取代 M1 方向盤，迄第一次波灣戰爭後，美軍又開始檢討 M2 方向盤之適應性，發現其結構老舊且功能有限，已難以滿足作戰實需，急須換裝新式系統以解決戰場上日益升高之定位與定向問題，¹⁴基此，相繼換裝新一代的測地裝備 PADS 定位定向系統，並規

¹³ 朱慶貴，〈砲兵射擊圖結合全球定位系統 GPS 運用之研析〉《砲兵季刊》（臺南），第 167 期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國 103 年第 4 季，頁 11。

¹⁴ 同註 8，頁 31。

劃自 1995 年起汰換 GLPS 火炮射向賦予與定位定向系統，邁向數位化與自動化作業階段，以增進砲兵相關作業效能。

二、火炮射向賦予與定位系統(Gun Laying and Positioning System, GLPS)為瑞士「萊卡」(LEICA)工業技術公司製造，系統涵蓋慣性定向、雷射測距、GPS 定位、光電測角與電子計算等組件，¹⁵其射向賦予方式係利用 GLPS 快速定位定向功能(約 3.5 分鐘內)，於戰砲隊(排)陣地「選擇點」完成整置後，以 GPS 及「一點反交會」兩種方式求算出「選擇點」座標，接續於電子經緯儀輸入「射擊指揮所」賦予「砲檢(目)方位角」，最後再以電子經緯儀之望遠鏡對正火炮瞄準鏡，測定至各砲之方位角、距離及高低角，並宣讀火炮射向賦予之「方向」，後續動作與使用 M2 方向盤方式概同，而 GLPS 具備相關數位化條件，更可提升火炮射向賦予精度；惟與使用 M2 方向盤相較，GLPS 仍存在裝備攜行不易(約 28 公斤)、需使用電力、定向時間長(大於 M2 方向盤)及射向賦予速度無明顯縮短(仍須逐砲賦予射向)等問題，效益受限。

三、美軍現役主要火炮計 M109 A6 自走砲、M777 A2 式 155 公厘牽引砲及 M119 A3 式 105 公厘牽引砲等類型，上述各型火炮除配備彈道計算機、砲口初速雷達、數位瞄準鏡及裝彈輔助等自動化系統外，最重要的是配備慣性導航儀(Inertial Navigation Unit, INU)或雷射慣性自動定位系統(LINAPS, Laser Inertial Automatic Pointing System)(圖 10)，LINAPS 系統獨立自足(self-contained)，安裝後提供火炮高精度之定位、定向與射擊諸元，增加快速反應能力與全天候部署能力，並可執行導航、定位與武器管理工作，¹⁶其中慣性導航儀可鏈結防衛性先進全球定位系統接收器(Defense Advanced Global positioning system Receiver, DAGR)與全球定位定向系統(GPS)，獲得火炮當前位置，並藉由車輛動態感應器(Vehicle Motion Sensor, VMS)提供之資料，實施測地諸元計算，以提供火炮當前座標、高度(以公尺顯示)、射向及射角(以密位顯示)。¹⁷如此一來，火炮可自行取得陣地(砲位)定位(座標、標高)及定向(射向)等諸元，實施單位自動定位射擊，¹⁸大幅提升射擊整備速度；另火炮射向賦予採自動化方式，由「射控電腦」接收上級傳送之目標位置(座標)，並計算出射向方位角，如 M777 A2 牽引砲於機動進入陣地時，即可依射向方位

¹⁵ 耿國慶，〈析論美軍砲兵「火炮射向賦予與定位系統」(GLPS)〉《砲兵季刊》(臺南)，第 135 期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國 95 年第 4 季，頁 26。

¹⁶ 耿國慶，〈析論「雷射慣性砲兵指示系統」(LINAPS)〉《砲兵季刊》(臺南)，第 165 期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國 103 年第 2 季，頁 110。

¹⁷ 蔡正章，〈M777A2 155 公厘火炮系統運用於防衛作戰之探討〉《砲兵季刊》(臺南)，第 183 期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國 107 年第 4 季，頁 17。

¹⁸ 林展慶，〈淺談近代全球牽引砲發展現況及性能提升〉《砲兵季刊》(臺南)，第 162 期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國 102 年第 3 季，頁 36。

角先行概略對正射向（M777 A2 式 155 公厘牽引砲已將牽引環位置改良至砲口前方，如圖 11），使火炮牽引機動時，車頭向即為火炮方向（圖 12），砲長於機動過程，可直接運用「砲長顯示面板（CSD）（圖 13）」於車上引導駕駛將火炮調整至概略射向，抵達砲位後，再由瞄準手依「瞄準手顯示與控制面板（GND）」（圖 14）顯示之射向方位角，指揮其他砲班人員將火炮微調至射擊方位（射向）（圖 15），即完成射向賦予，速度大幅提升。

四、因應自動化設備失效或損壞風險，美軍在射向賦予、方向標定及 CVT 信管（時間控制近發信管）時間裝定等方式，鑑測項目仍維持傳統作業方法，例如砲上定位定向系統失效或信號不良時，可配合其他系統正常火炮平行賦予該砲射向，或採人工作業方式，以 M2 方向盤法或基準砲瞄準點法等方式實施，相關作業要領與本軍現行作法概同。

五、世界各國砲兵早期多使用「方向盤」之磁針與「天體觀測」遂行定向作業，¹⁹現今先進國家均已發展出新式定向、定位與導航系統，並可依據砲位及目標諸元（座標、標高）自動傳輸至彈道計算機（射擊指揮儀），計算射向及射角，因應現戰爭型態，如美軍 M109 A6 自走砲、M777 155 公厘牽引砲及法國凱薩自走砲等，均藉「模組化定位定向系統」，可執行自動導航、定位、賦予火炮射向、射角及連接射擊指揮儀等功能，²⁰提升火力支援速度及射擊精度。



圖 10 安裝 LINAPS 系統之 M777A2 式 155 公厘榴砲

資料來源：耿國慶，〈析論「雷射慣性砲兵指示系統」〉《砲兵季刊》（臺南），第 149 期，陸軍砲訓部，民國 99 年第 2 季。

¹⁹ 耿國慶，〈以色列砲兵「天文定向模組」（ANFM）發展與運用簡介〉《砲兵季刊》（臺南），第 149 期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國 99 年第 2 季，頁 50。

²⁰ 耿國慶，〈美軍 M109A6 自走砲營測地作業之研究〉《砲兵季刊》（臺南），第 119 期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國 91 年第 4 季，頁 2。



圖11 M777 A2式155公厘牽引砲已將牽引環位置改良至砲口前方

資料來源：<https://youtu.be/GhroXarNuLo>



圖12 火炮牽引機動時，車頭向即為火炮方向

資料來源：<https://youtu.be/kn3uyp7wHc>



圖13 瞄準手依「瞄準手顯示與控制面板」指揮將火炮微調至射擊方向

資料來源：<https://youtu.be/GhroXarNuLo>



圖14 砲長顯示面板（CSD）

資料來源：<https://youtu.be/IL1bULpxmAw>



圖15 瞄準手顯示與控制面板（GND）

資料來源：<https://youtu.be/IL1bULpxmAw>

六、小結

美軍砲兵部隊自早期使用 M1、M2 方向盤實施射向賦予，後續換裝 GLPS- 火炮射向賦予與定位定向系統，雖能精進各砲兵作業效率與精度，然射向賦予等射擊整備速度卻無顯著提升(美軍目前射向賦予備援作法仍以使用 M2 方向盤為主)，於戰場上仍存在一定程度高風險；基此，美軍現各型火炮均已搭載模組化定位定向系統（MAPS）²¹、全球定位系統（GPS）與慣性導航系統（INS），使各砲能獨立獲取射擊所需之定位定向資料，無須仰賴測量人員提供測地資料，除加快射擊整備速度及縮短相關作業時間外，亦可提升火炮射擊精度，增進整體火力支援效能；²²另砲兵彈道氣象自 2010 年起改由空軍運用氣象衛星獲得，並透過先進野戰砲兵戰術數據系統（Advanced Field Artillery Tactical Data

²¹軍武介紹－未來將採購美制 M109A6 PIM 帕拉丁（paladin）自走砲車，〈[https:// m.xuite.net/blog/wan2/twbl og/117270041](https://m.xuite.net/blog/wan2/twbl og/117270041)〉（2020 年 11 月 12 日）

²² 耿國慶，〈析論 M109A6 式自走砲之標準配備-「模組化定位定向系統」（MAPS）〉《砲兵季刊》（臺南），第 1 34 期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國 95 年第 3 季，頁 11。

System，AFATDS）提供射擊單位運用，故現行目獲排已無氣象人員編制，並運用反砲兵雷達來標示反火力戰攻擊目標位置，現行定位定向組人員，則運用 iPADS（iPADS-G）實施控制點資料驗證，以作為主戰武器及雷達之備援手段。

精進建議

一、火砲配備定位定向系統

綜觀現今各國新型火砲及多管火箭發展趨勢，均已將自動定位定向系統及彈道計算機等納入重要配備項目，使火砲可採分散配置方式占領陣地，甚至以單砲獨立遂行作戰，大幅提升砲兵部隊戰場存活率、火力運用彈性及戰鬥支援速度；秉此思維，國軍砲兵部隊現僅雷霆 2000 多管火箭配備自動定位定向系統，且近年來在國防自主理念下，中科院已具備自行研製定位定向器能力，建議未來在尚未完成全軍火砲換裝前，可同步檢討採性能提升方式，將自製定位定向器裝設於傳統火砲，使火砲具備基本定位定向能力，並將所獲資訊鏈結砲長射令顯示器（RT-8），經自動化射擊指揮系統傳送至射擊指揮所及各級火協機構運用，增進砲兵火力支援效能。

二、光學裝備定期檢修校正

砲兵部隊目前仍需以傳統光學裝備實施射向賦予及測量作業，惟相關作業器材因磁針偏差數值經常產生細微的變化，須依規定於每月、部隊移動 40 公里以上、跨區（方格帶）、實彈射擊前及受據烈天候影響實施磁偏校正作業，以減少射向誤差，且磁偏校正之結果影響方位角法射向賦予、測決定方位角與量取測地統制點假設方位角等相關精度，務須確實執行；建議各作戰區（防衛部）須落實管制單位定期完成方向盤及相關測量器材檢修與校正作業，並由業管配合駐地訓練或基地進訓等督（輔）導時機實施驗證，紀錄備查，確保相關器材功能及精度符合砲兵部隊作業實需。

三、持續強化人員訓練成效

砲兵部隊實施陣地偵察、選擇及占領程序時，挺進班人員在連（排）長帶領下須以最短時間完成相關整備，使戰砲隊（排）可迅速進入陣地發揚火力，測量班長依選擇點及方向基線一端選定要領完成位置偵察後，提供分析建議由連（排）長下達決心，為避免相關位置選定錯誤或不符標準狀況，建議平時即利用駐地或戰備訓練時機，由連（排）長率測量班長等重要幹部，至各防區內可為火砲放列陣地（含非固安計畫律定位置）採現勘方式，實地訓練幹部專業學能與實務經驗，確保戰時可迅速、精確完成所負任務，強化戰場經營效果；另砲班射向賦予係由瞄準手（副砲長）負責，建議除訓練所有砲手均須熟稔射向賦予程序與動作，避免戰時無備員狀況外，亦可利用駐地訓練時機，採縮短

距離方式占領陣地，並同步訓練瞄準手與副連長（戰砲隊隊長）、排長及砲班間作業默契，增進整體射擊整備速度。

四、提升測量作業精（速）度

正確之測量作業，可將火力單位、目獲設施及射擊目標等位置，置於同一座標系統內，以獲得精確之相對關係數據，提供射擊指揮、武器裝備及目獲觀測等定位定向作業；砲兵部隊現階段須仰賴測量資訊，而現行測地作業仍採有系統模式使用 **ULISS-30** 定位定向系統及無系統模式使用萊卡、蔡司測距經緯儀，並配合導線法、交會法等人工作業方式為主，建議未來可參考美軍現行作法及相關裝備，持續籌購精進，例如已配發部隊之 **Trimble S9** 測距經緯儀、**R2** 衛星定位儀（定位功能）及 **Nomad** 手持計算機（概略定向）（圖 16 至 18）等新式測量器材，不僅加快作業速度，更可減少精度誤差；另單位測量人員平時可配合防區測地作業，沿砲兵連（排）機動路線及戰力防護位置，建立數個測站與統制點，以利戰時砲兵部隊在無 **GPS** 定位定向及測量班作業輔助下，仍可維持精準射擊能力，並減少戰時測地作業負荷。



圖16 Trimble S9測距經緯儀



圖 17 R2 衛星定位儀

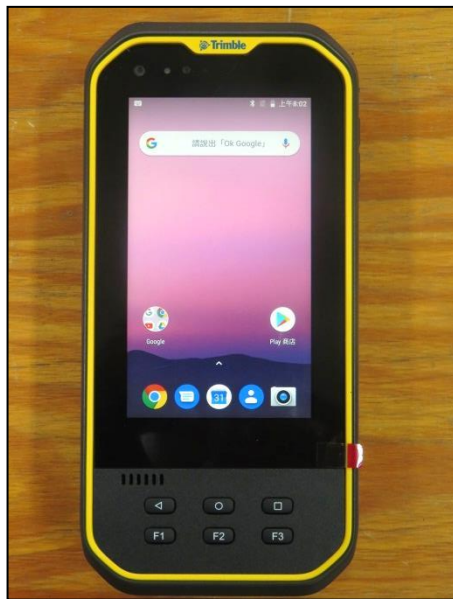


圖18 Nomad 5手持計算機

資料來源：圖 16 至 18 為砲訓部目標組教官提供

五、建案籌購新裝並研改精進

陸軍除積極提升火砲裝備，CM33 輪型戰鬥車及雷霆 2000 多管火箭系統為近年國防自主所研發新型裝備，且均配備定位定向器等自動化功能，惟部分性能與美軍同類型裝備相較仍有不足，建議除依建案規劃分年籌購新裝外，現階段應在繼有基礎下，參酌先進各國裝備相關軟、硬體設施及實戰經驗，持續研改、強化裝備性能，未來配合國軍通資指管發展及作戰運用，將可打造快速機動、精確打擊及具強大攻擊火力之各類型部隊；另美軍曾於火砲配備定位定向器前，使用火砲射向賦予與定位系統（Gun Laying and Positioning System，GLPS）替代原 M2 方向盤，惟目前美軍射向賦予人工備援作法，仍維持使用 M2 方向盤，顯見 GLPS 對於整體作業效率之提升是有限的，且建案精神應同步考量操作時間、精度提升、攜行便利及符合先進趨勢等概念，基此，建議未來建案宜參考美軍作法，朝火砲自動定位定向發展，俾符投資運用效益。

結論

陸軍砲兵部隊作戰運用均以排、連、營群等編組方式，執行火力支援任務，且因應現代戰場環境及科技武器性能，火砲若無法迅速占領陣地完成射擊，並隨即實施陣地變換，將極容易遭敵反砲兵雷達偵獲進而對我攻擊；射向賦予係砲兵部隊占領陣地後，首要完成且為最重要之工作，現階段砲兵部隊測驗時間雖已為最佳標準，並納為駐、基地訓練必測項目，要求重要幹部均須達合格標準，惟戰時傳統作業方式仍受人為誤差、裝備精度、戰場環境及天候因素等影響，耗力費時，降低砲兵射擊精度及火力支援效能。基此，未來除持續建案籌

獲新型火炮外，應同步檢討提升現有火炮性能，使其具備定位定向等基本能力，砲兵部隊可採分散佈署或獨立執行射擊任務等方式，藉以反制敵反砲兵行動及提升砲兵戰術運用彈性與射擊精度，爭取戰場有利態勢，筆者認為此為砲兵部隊當前可行且首要發展之方向。

參考資料

- 一、《野戰砲兵戰砲隊訓練教範》（桃園：陸軍司令部，民國90年12月24日）。
- 二、《陸軍野戰砲兵測地訓練教範》（桃園：陸軍司令部，民國107年8月14日）。
- 三、《陸軍TGS8乘8自走式雷霆2000多管火箭系統操作手冊（第一版）》（桃園：陸軍司令部，民國101年9月17日）。
- 四、耿國慶，〈跨越「方向盤」階段，邁向「數位化」目標之研究-以美軍為例〉《砲兵季刊》（臺南），第183期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國107年第4季。
- 五、吳嘉晉，〈精進 M2 方向盤測角精度之研究〉《砲兵季刊》（臺南），第146期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國98年8月。
- 六、《陸軍SPAN-7定位定向系統操作手冊》（桃園：陸軍司令部，民國102年8月27日）。
- 七、朱慶貴，〈砲兵射擊圖結合全球定位系統GPS運用之研析〉《砲兵季刊》（臺南），第167期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國103年第4季。
- 八、耿國慶，〈析論「雷射慣性砲兵指示系統」（LINAPS）〉《砲兵季刊》（臺南），第165期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國103年第2季。
- 九、耿國慶，〈析論美軍砲兵「火炮射向賦予與定位系統」（GLPS）〉《砲兵季刊》（臺南），第135期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國95年11月。
- 十、蔡正章，〈M777A2 155 公厘火炮系統運用於防衛作戰之探討〉《砲兵季刊》（臺南），第183期，陸軍砲訓部，民國107年第4季。
- 十一、林展慶，〈淺談近代全球牽引砲發展現況及性能提升〉《砲兵季刊》（臺南），第162期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國102年第3季。
- 十二、耿國慶，〈以色列砲兵「天文定向模組」（ANFM）發展與運用簡介〉《砲兵季刊》（臺南），第149期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國99年第2季。
- 十三、耿國慶，〈美軍M109A6自走砲營測地作業之研究〉《砲兵季刊》（臺南），第119期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國91年第4季。
- 十四、軍武介紹－未來將採購美制M109A6 PIM 帕拉丁（paladin）自走砲車，〈[https:// m.xuite.net/blog/wan2/twblog/117270041](https://m.xuite.net/blog/wan2/twblog/117270041)〉。
- 十五、耿國慶，〈析論M109A6式自走砲之標準配備-「模組化定位定向系統」（MAPS）〉《砲兵季刊》（臺南），第134期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國95年9月。

十六、US Marines Shooting the Fantastic M777 Lightweight 155mm Howitzers，〈<https://youtu.be/kn3uyp7wHc>〉。

十七、US Soldiers Shooting the Fantastic M119A3&M777，〈<https://youtu.be/GhroXarNuLo>〉。

作者簡介

吳皇慶中校，陸軍官校 90 年班、砲校正規班 193 期、陸軍指參學院 101 年班、陸軍指參學院戰研班 102 年班，歷任排長、教官、連長、連絡官、參謀官、營長，現任職於陸軍砲兵訓練指揮部射擊教官組。

精進砲兵檢驗射擊方法研析

作者：朱慶貴

提要

- 一、砲兵火力運用主在迅速應變、提供地面部隊快速、精確之火力支援。
 - 二、檢驗射擊目的在求得檢驗點之決定諸元並依決定諸元求取修正量，運用於爾後面擊射擊，提高射擊精度。
 - 三、射擊指揮課目作業方法，在國軍砲兵教學、演訓與測考已運用多年，然吾人認為檢驗射擊方法，仍有再精進作為，以利增進作業速度、減少彈藥消耗與提高作業精度。
 - 四、精進檢驗射擊作為，仍需運用各項演訓驗證修正量之求取與射擊效果驗證。
- 關鍵詞：精密檢驗、AFCS 檢驗射擊、平高檢驗

前言

砲兵火力運用主在迅速應變、提供地面部隊快速、精確之火力支援，侷限敵軍行動，爭取反應時間，亦在所望之時機，對所望之地區，於最短之時間內，徹底集中優勢火力，予敵以有效性之打擊，瓦解敵人戰鬥意志，以獲致決定之戰果。砲兵射擊指揮係依據射擊命令（要求），整合砲兵部隊射擊指揮、觀測、測量、砲陣地及通資各分組專業技能，以迅速、有效之方式，將火力指向所望地區，其射擊指揮程序，以砲兵射擊指揮所為核心，運用各項檢驗射擊方式，完成精準射擊任務。射擊效果之良窳，端在射擊指揮方式與檢驗射擊方法運用正確性。然現行砲兵檢驗射擊，受限檢驗地區、地形與彈藥數量限制，使檢驗射擊方法，有需探討再精進之措施，文中提出精進作為，供砲兵幹部參考。

檢驗射擊修正量運用之重要性

戰場狀況必然是瞬息萬變，而戰機稍縱即逝，尤以砲兵射擊為然，當戰場上出現有利於砲兵射擊目標執行射擊，因受火砲非標準狀況之影響，而未能精確命中目標，造成任務遂行不佳，嚴重影響戰局的發展。若火砲、器材、彈藥、陣地與氣象均為標準狀況，則火砲裝定射表中某一仰度發射，射彈必可落達該仰度相映之距離，¹同理若火砲裝定之方向正確，則射彈定在砲目線上爆炸，但標準狀況難同時存在，因此射彈之偏差亦無法避免，此種偏差，即為測地、火砲、陣地、彈藥及非標準氣象等誤差之總和，可藉檢驗射擊決定，而檢驗其目的，再求得檢驗點之決定諸元並依決定諸元求取修正量，俾利運用於爾後射擊，獲致良好之射擊結果。

¹ 《陸軍野戰砲兵射擊指揮教範》（第三版）（桃園：國防部陸軍司令部，民國 103 年 10 月 30 日），頁 5-6。

現行檢驗射擊方法與問題

射擊指揮課目作業方法，在我砲兵教學、演訓與測考已運用多年，然吾人認為檢驗射擊方法，仍有再精進作為之必要，以增進作業速度減少彈藥消耗，提高砲兵火力支援之效能，以下分別敘述各項目前現行方法及問題。

一、精密檢驗

乃藉試射與效力射逐次修正射擊諸元，使平均彈著點落於已知點（檢驗點）之射擊方法，²並藉以求取「決定諸元」與修正量，俾運用於爾後射擊，期獲致良好效果。

問題：精密檢驗是以中央連、排基準砲實施檢驗，由單一觀測官導射彈於檢驗點，經試射求得概定距離進入效力射，此時水平手無法再行圖解圖上諸元，後續諸元之求取需運用方向修正因素及散布差，由計算手藉「射擊判定表」（表 1）實施判定，繼續求得射擊諸元。然射擊判定表之製作，是依圖式判斷與 T 角值製作而成，在 T 角大於 500 密位，易出現方向為疑，使得後續方向求取，必須同諸元繼續求得，造成決定方向無法求得，甚至無法求取，最後須採圖解法解決此問題，因此造成精密檢驗射擊時間長、彈藥消耗多，甚至易發生誤差之問題產生。

二、陸山射擊法 - AFCS 檢驗

陸山射擊法 AFCS 檢驗係以兩發試射三發效力射，並運用「等量、反向、平移修正」與「幾何中心」原理，求取「決定諸元」之射擊技術。³其作業流程：

（一）試射：以陣地量取至檢驗點圖上諸元，計算射擊諸元，發射第 1 發射彈，初發射彈位置，觀測官將觀彈諸元傳至射擊指揮所，作圖手使用極座標法標定初發彈著點位置，再依初發彈著點位置，通過檢驗點量取「等量、反向」位置，求得第 2 發射擊諸元（圖 1）；觀測所測得第 2 發觀彈諸元，射擊指揮所再依觀彈諸元定點；並依「等量、反向、平移修正」，決定效力射諸元位置（圖 2）。

（二）效力射：量得效力射諸元，以同諸元連續發射 3 發，觀測官將 3~5 發觀彈諸元回傳至射擊指揮所，射擊指揮所計算 3 發觀彈諸元平均值，並依此平均值，定點於射擊圖上，續向檢驗點量取「等量、反向、平移」之位置點（圖 3），則此點所量得之方向即為決定方向，其距離所相應之仰度即為決定仰度，後續以決定諸元減圖上諸元求取修正量運用之。

問題：AFCS 精密檢驗觀測官射彈修正，需精準標示彈著點，因此僅可實施

² 《陸軍野戰砲兵射擊指揮教範》（第三版）（桃園：國防部陸軍司令部，民國 103 年 10 月 30 日），頁 5-7。

³ 《陸軍野戰砲兵射擊指揮教範》（第三版）（桃園：國防部陸軍司令部，民國 103 年 10 月 30 日），頁 5-7。

瞬發檢驗及不同批號檢驗；空炸檢驗，因觀測官無法使用雷觀機精確定彈著點，無法實施檢驗求得時間修正量。另此檢驗射擊法目前無法運用海上檢驗射擊，降低檢驗射擊區域之運用。

表 1 射擊指揮所判定表

 砲在左	觀測官										
	觀測結果	1-99	100-499	500-799	800-1399	1400-1600	1601-1799	1800-2399	2400-2699	2700-3099	3100-3200
	果										
	? 右	? 右	+ 右	+ ?	+ ?	+ ?	+ ?	+ ?	+ ?	+ 左	? 左
	? 左	? 左	- 左	- ?	- ?	- ?	- ?	- ?	- ?	- 右	? 右
	+ 濫	+ 左	+ 左	+ 左	- 左	+ 左	- 左	- 左	- 左	- 左	- 左
	+ 右	+ 右	+ ?	+ ?	+ ?	+ 左	+ 左	? 左	- 左	- 左	- 左
	+ 左	+ 左	+ 左	+ 左	? 左	- 左	- 左	- ?	- ?	- ?	- 右
	- 濫	- 右	- 右	- 右	- 右	- 右	+ 右	+ 右	+ 右	+ 右	+ 右
	- 右	- 右	- 右	- 右	? 右	+ 右	+ 右	+ ?	+ ?	+ ?	+ 左
	- 左	- 左	- ?	- ?	- ?	- 右	- 右	? 右	+ 右	+ 右	+ 右
 砲在右	觀測官										
	觀測結果	1-99	100-499	500-799	800-1399	1400-1600	1601-1799	1800-2399	2400-2699	2700-3099	3100-3200
	果										
	? 右	? 右	- 右	- ?	- ?	- ?	- ?	- ?	- ?	- 左	? 左
	? 左	? 左	+ 左	+ ?	+ ?	+ ?	+ ?	+ ?	+ ?	+ 右	? 右
	+ 濫	+ 右	+ 右	+ 右	+ 右	+ 右	- 右	- 右	- 右	- 右	- 右
	+ 右	+ 右	+ 右	+ 右	? 右	- 右	+ 右	- ?	- ?	- ?	- 左
	+ 左	+ 左	+ ?	+ ?	+ ?	+ 右	+ 右	? 右	- 右	- 右	- 右
	- 濫	- 左	- 左	- 左	- 左	- 左	+ 左	+ 左	+ 左	+ 左	+ 左
	- 右	- 右	- ?	- ?	- ?	- 左	- 左	? 左	+ 左	+ 左	+ 左
	- 左	- 左	- 左	- 左	? 左	+ 左	+ 左	+ ?	+ ?	+ ?	+ 右

資料來源：《射擊資料手冊》（臺南：陸軍砲兵訓練指揮部 100 年 10 月 01 日）。

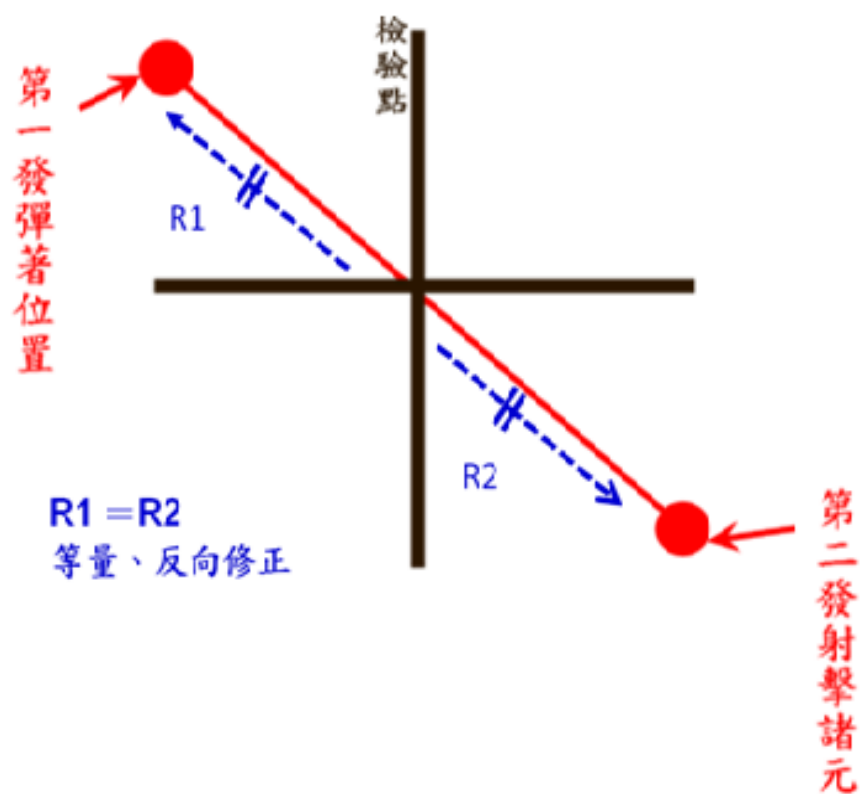


圖 1

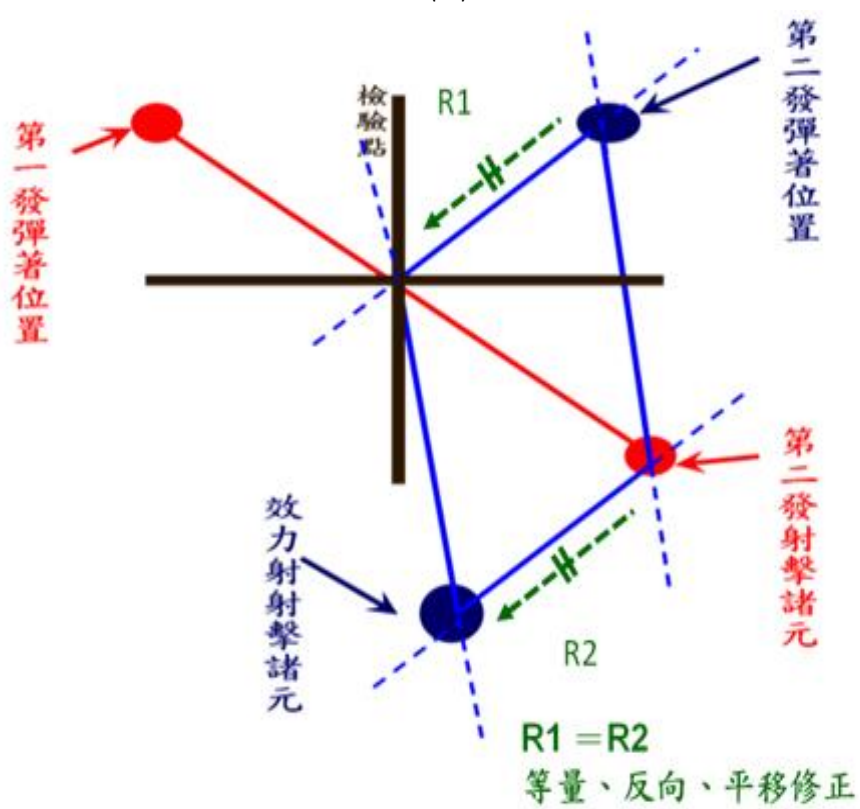


圖 2

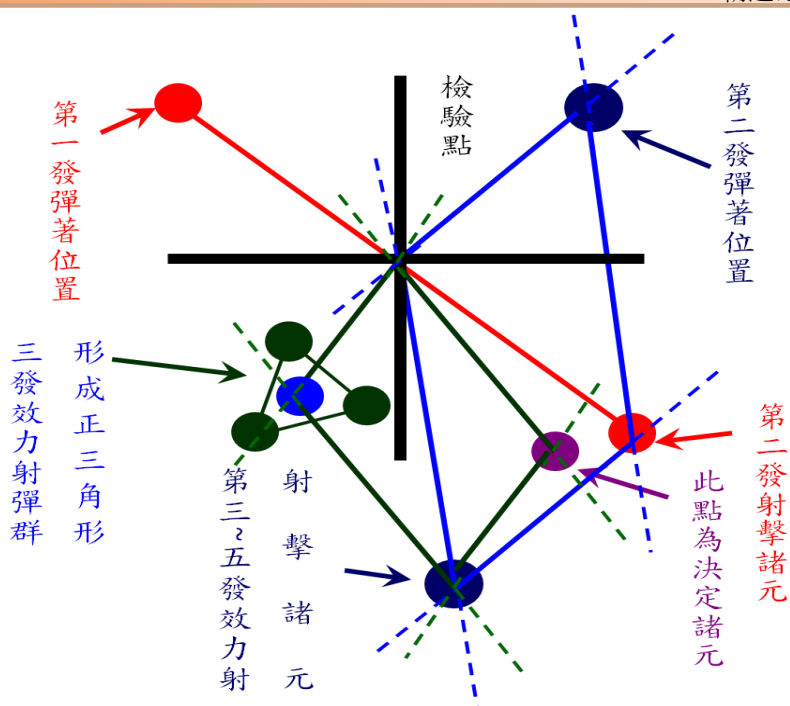


圖 3

資料來源：圖 1 至圖 3 為作者自繪

三、平均彈著點及高炸點檢驗

係以同一射擊諸元發射一群射彈，求得平均彈著點位置後，與所選定之預期點相互比較，其差值即為所求之修正量。⁴

問題：

(一) 平(高)檢驗係以同一射擊諸元，取得 6 發有效射彈，以求得修正量之檢驗射擊，其精神在求得射彈散布的平均值。因此，若出現任 1 發無效彈，將影響修正量的可靠度，然判定方式卻從無具體標準可言，堅持補完 6 發有效射彈亦耗費時間與彈藥。

(二) 強化雷觀機雷射標定作業：由於雷射觀測機易受水氣影響，因此在雲霧濃度較高之環境下作業時，測距功能常未能發揮效用。故於未來採購新式夜視熱顯像雷射觀測機，特應注意雷射之強度可大幅穿透水氣、煙幕為宜。

精進作法

一、精密檢驗

為爭取精密檢驗求取時效，在檢驗時進入效力射階段，即必須將觀測官以觀目線之觀測結果，轉換為砲目線之判定結果，並以 $S/2$ 值來修正方向，期能構成方向左、右夾差，以求取決定方向。然無論砲在左或右，在判定上均有 50% 的機率無法判定方向，致經常無法求得決定方向，必須後續以檢驗彈配合圖解法(方法後述)以求得。故建議修訂射擊程序，射擊指揮所進入效力射階段同

⁴ 《陸軍野戰砲兵射擊指揮教範》(第三版)(桃園：國防部陸軍司令部，民國 103 年 10 月 30 日)，頁 5-7。

時，通知觀測官回報彈著偏差公尺數，射擊指揮所同時圖解判定方向，構成夾叉效果達決定方向條件，俾使在少量的射彈內，快速、有效求得決定方向，完成檢驗射擊，方可減少時間與彈藥消耗。

圖解方法：

(一) 將目標方眼紙中心，置於射擊圖任一方格十字線之中心點上。

(二) 以方格紙縱線代表砲目線，目標方眼紙 0~3200 之線代表觀目線，依據砲在左(右)及 T 角數值大小，轉動目標方眼紙完成定向。

(三) 將觀測官所報之射彈偏差公尺數，以觀目線為準，分別以插針將彈著點定於目標方眼紙上(目標方眼紙每格可代表 2 或 5 公尺)。

(四) 此時以砲目線為準，判別彈著點左(右)，射彈均落在砲目線左(右)，則向左(右)修正 S/2，直至求得決定方向為止。

圖解範例：

設砲在左，T 角 500 密位，發射後觀測官即報告偏差公尺數：以觀目線為準每一格代表 5 公尺，定出遠 30、右 20 公尺之彈著點位置。射擊指揮所圖解後(圖 4)，並判定為偏右，次發方向即向左修正 S/2。

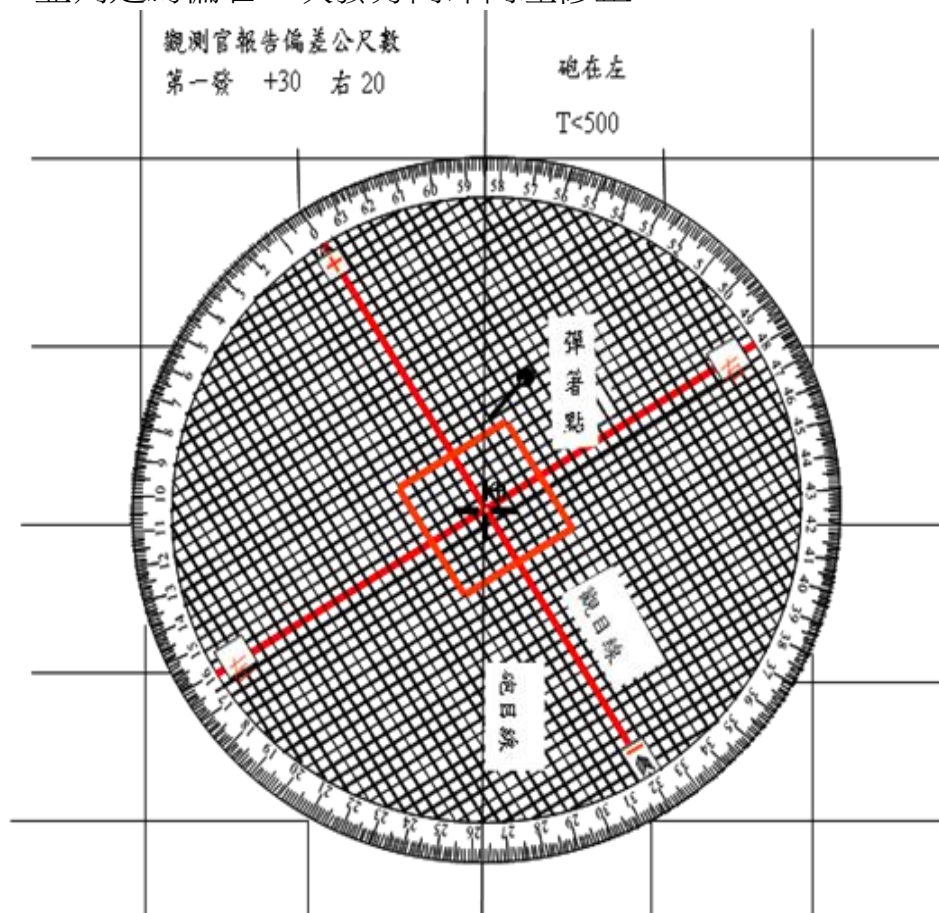


圖 4

資料來源：作者自繪

二、AFCS 檢驗射擊

(一) 增加圖示判斷重要性，射彈若不規則散布情形嚴重，如效力射三發彈著，若未能概略形成正三角形，則代表至少有一發射彈之方向或距離散佈不正常，將影響檢驗修正量之成果；若三發位置形成近乎一線，則檢驗完全無效。

(二) 無效彈判定：於射擊圖上圖解各發射彈位置，出現不規則散佈，應以原諸元補行發射 1 發，以取得較佳之有效射彈。

(三) 增加 AFCS 檢驗射擊區域：現行 AFCS 檢驗射擊僅能於陸上實施瞬發檢驗射擊，然依據射擊指揮訓練教範第五章第二款 AFCS 檢驗射擊之作法，可運用海面上實施檢驗，僅須在雷觀機觀測射彈，精確標示射彈求得觀彈諸元，方能求的較佳之檢驗成果，如此可增加對海上火力支援時，求取修正量之方法。

三、平均彈著點及高炸檢驗

平（高）檢驗其精神在求得射彈正常散佈下的平均值，藉以獲取修正量。因此，若出現任一發無效彈（超過方向、距離、炸高八倍公算偏差），將影響修正量的可靠度，⁵堅持補完六發有效射彈亦耗費時間與彈藥，不符作戰實需（圖 5）。在合理、有效的射彈「樣本」數下，取得可靠之修正量。故實務上最少取 4 發有效射彈（可靠度 82%），即可算完成檢驗射擊求得修正量，以縮減射擊時間、節約彈藥並避免因無效射彈導致修，另能以一便利之器材（如散布尺）立即判定或技術射擊指揮儀自動判定「有（無）效彈」，將可大幅縮減射擊時間、節約彈藥並提升檢驗修正量的可靠度正量失真。

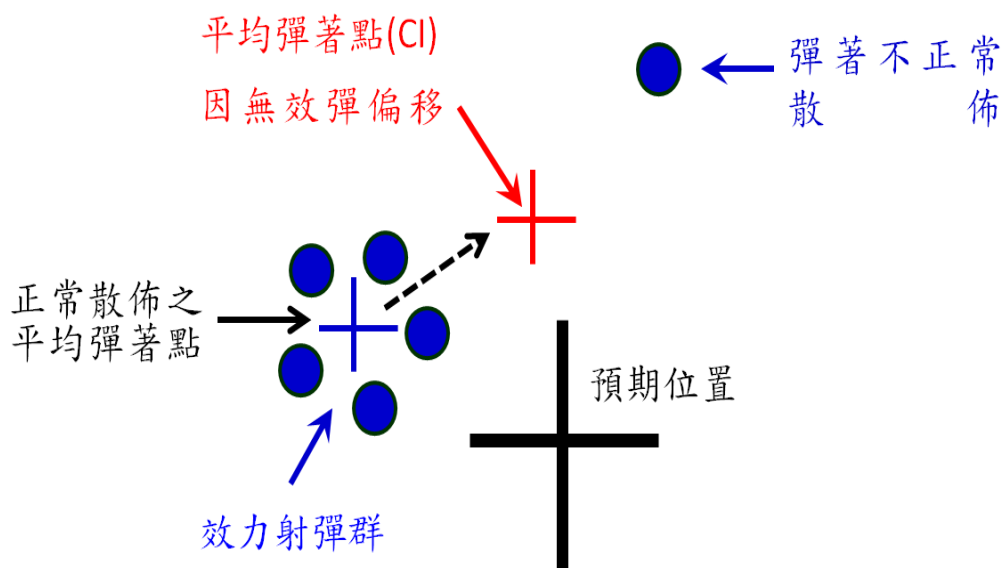


圖 5 平均彈著點檢驗出現不正常散佈示意圖

資料來源：作者自繪

⁵ 《陸軍野戰砲兵射擊指揮教範》（第三版）（桃園：國防部陸軍司令部，民國 103 年 10 月 30 日），頁 5-70。

結論與建議

砲兵火力運用，主在迅速應變，提供地面部隊快速、精確之火力支援，為有效運用砲兵檢驗射擊方法，使砲兵射擊指揮技術，更重要的是在既有基礎上研究發展，經研究探討各種不同之戰技與射擊方式，促使砲兵之射擊更為精準，進而獲致良好之射擊效果。

筆者建議在「第二代技術射擊指揮系統」研發完成時，同步於各項演訓實際驗證，上述精進檢驗射擊法，並檢討再精進射擊法，畢其功於一役，以符合野戰砲兵快速、精準的作戰需求，提升砲兵整體作戰效能。

參考文獻

- 一、《野戰砲兵射擊指揮教範》（桃園：陸軍司令部，民國 74 年 4 月 16 日）。
- 二、《陸軍野戰砲兵射擊指揮教範》（第三版）（桃園：陸軍司令部，民國 103 年 10 月 30 日）。
- 三、《射擊資料手冊》（臺南：陸軍砲兵訓練指揮部 100 年 10 月 1 日）。
- 四、《野戰砲兵射擊法之探討－有無效彈判定》（臺南：陸軍砲兵訓練指揮部 100 年 10 月 1 日），射擊組朱瓊濤。

作者簡介

朱慶貴備役中校，陸軍官校 74 年班、砲校正規班 140 期，曾任排長、連長、教官、主任教官、雇員教師，現任職於陸軍砲兵訓練指揮部射擊教官組。

使用 EXCEL 建構近似射表標準空氣數值之彈道模組

作者：林政諭

提要

- 一、為何要使用 EXCEL 建構彈道模組？第一乃是因為射表所提供資訊不足，使吾人無法瞭解任何角度、時間點及砲目距離下之砲彈飛行軌跡，舉例說明：射表僅記載各號裝藥每 500 公尺水平距離之最大彈道高度，卻未說明最大彈道高發生於何時及何處之水平距離，因此便無法確保在此砲目距離內之障礙物是否造成射擊死界，若可建構近似射表數值之彈道模組，此問題便可迎刃而解，因為彈道模組將彈道具體化，使後續探討射彈修正、射擊諸元計算，甚至彈道計算機之概念均具體可行；第二 EXCEL 是每台電腦幾乎都有的文書處理程式，因此筆者將於本研究中以最簡易之方式推算標準空氣狀況下之彈道計算原理，並且提供 EXCEL 程式所需函數及公式，供有需求之單位研究及指教。
- 二、在標準空氣狀況下，彈體從出砲口開始，便時時刻刻受到空氣阻力影響直到落彈，舉如阻力係數、空氣密度、彈體截面積、相對速度、物體質量、重力加速度、仰度、初速，甚至力矩等均為影響計算結果之變因，而這些變因之正確參數，正是「逆向工程」所遭遇之最大困難，我們僅能從射表及準則中找尋是否有可供參考之數據，儘可能客觀的「假設」產製射表時是使用這些參數數值。
- 三、射擊試驗參數往往被火砲產製國家列為機密而無法得知，在基礎彈道學原理已普遍被探索之情況下，藉由「逆向工程」反推試驗參數，僅能達到「近似」參數值，而非真實試驗數值，而且推算過程非常耗時，因此未來在採購國外新式火砲時，希望火砲產製國家不僅提供射表，尚能提供相關射擊參數。
- 四、筆者在過往教學及輔訓實務經驗中，常需針對射彈修正後所產生之結果實施解說，然而卻發現所產生之結果往往僅是推論而無具體之參考依據，因此筆者希望藉由建構 EXCEL 彈道模組，將彈道飛行軌跡及數據具體化，作為輔助教學之工具，使學者更容易一窺彈道學原理。
- 五、筆者希望藉由本研究論述表達基礎彈道學原理，因為彈道計算機之概念便是建構於此，若可激發共鳴達到拋磚引玉之效果，相信可使彈道模組之功能與運用更加完善。

關鍵詞：彈道學、彈道模組、彈道計算機

前言

國家教育研究院力學名詞辭典中「射表」(Firing table)之名詞解釋為「顯示標準空氣狀況與非標準空氣狀況下，火炮對目標行精確射擊所需諸元之圖表」，而「標準空氣狀況」¹並非指真空中狀況，乃是指在彈道學中常使用假定空氣密度、溫度及靜止之空氣狀況，此法可固定火炮與目標之間的射擊變數，為射表理論諸元計算之基準，如 B 表、F 表內第 1、2、5、7、10、11、18、19 欄、G 表內第 1、7 至 12 欄等參數，均以理論計算所得數值為基礎，再藉由射擊試驗實施小量修正，其他表次及欄位則是將標準空氣狀況所產生之射擊諸元予以修正，以符合於非標準空氣狀況下射擊之現象，如地球自轉、氣象、發射藥溫影響等，因此射表製表基礎便在於計算標準空氣狀況下之理論數值，也是筆者探討重點，非標準空氣狀況之參數不在本研究討論範圍。

然而，為何要使用 EXCEL 建構彈道模組？第一乃是因為射表所提供資訊不足，雖然於射表附件有繪製各號裝藥每 100 密位仰度之彈道曲線圖，仍然使吾人無法瞭解任何角度、時間點及砲目距離下之砲彈飛行軌跡，舉例說明：射表僅記載各號裝藥每 500 公尺水平距離之最大彈道高度，卻未說明最大彈道高發生於何時及何處之水平距離，因此便無法確保在此砲目距離內之障礙物是否造成射擊死界(圖 1)，若可建構近似射表數值之彈道模組，此問題便可迎刃而解，因為彈道模組將彈道具體化，使後續探討射彈修正、射擊諸元計算，甚至彈道計算機之概念均具體可行；第二 EXCEL 是每台電腦幾乎都有的文書處理程式，因此筆者將於本研究中以最簡易之方式推算標準空氣狀況下之彈道計算原理，並且提供 EXCEL 程式所需函數及公式，供有需求之單位研究及指教。

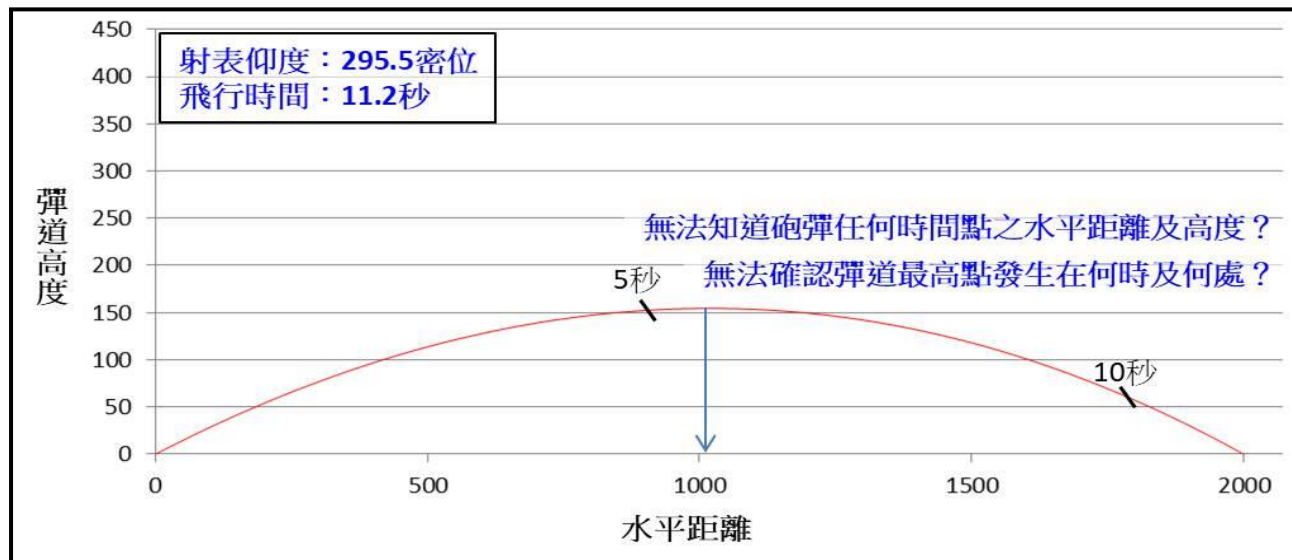


圖 1 105 榴彈砲射表(第 7 版) 1 號裝藥、距離 2000 公尺之彈道曲線示意圖

資料來源：筆者使用自製 EXCEL 彈道模組所繪製

¹ 《陸軍野戰砲兵觀測訓練教範(第二版)》(桃園：國防部陸軍司令部，民國 99 年 11 月 10 日)，頁 3-10。

受空氣阻力影響下之彈體拋射運動

真空中彈道射角等於落角、初速等於末速、彈道升弧等於降弧、彈道最高點發生於水平位移量之正中間、上升時間等於下降時間、水平速度（ V_x ）為一不變之常數值、鉛直速度（ V_y ）僅受重力影響（圖 2），而彈體受空氣阻力影響後所產生之現象，筆者採條列式之方式概略說明如下：²

- 1、水平速度（ V_x ）逐漸降低，不再為一常數值。
- 2、鉛直速度（ V_y ）亦同樣受空氣阻力影響。
- 3、彈道最高點接近落點。
- 4、落速小於初速。
- 5、落角大於射角。
- 6、降落時間較上升時間長。
- 7、彈體飛行之水平距離較真空中彈道短。

確實瞭解完真空與標準空氣彈道之差異性後，便可進一步的開始思考兩者之間實際差異數值為何？筆者於本研究中將採用「拋射體運動」及「微積分」兩種方式計算，以兩者所得結果相互比對，並驗證推導過程是否正確。

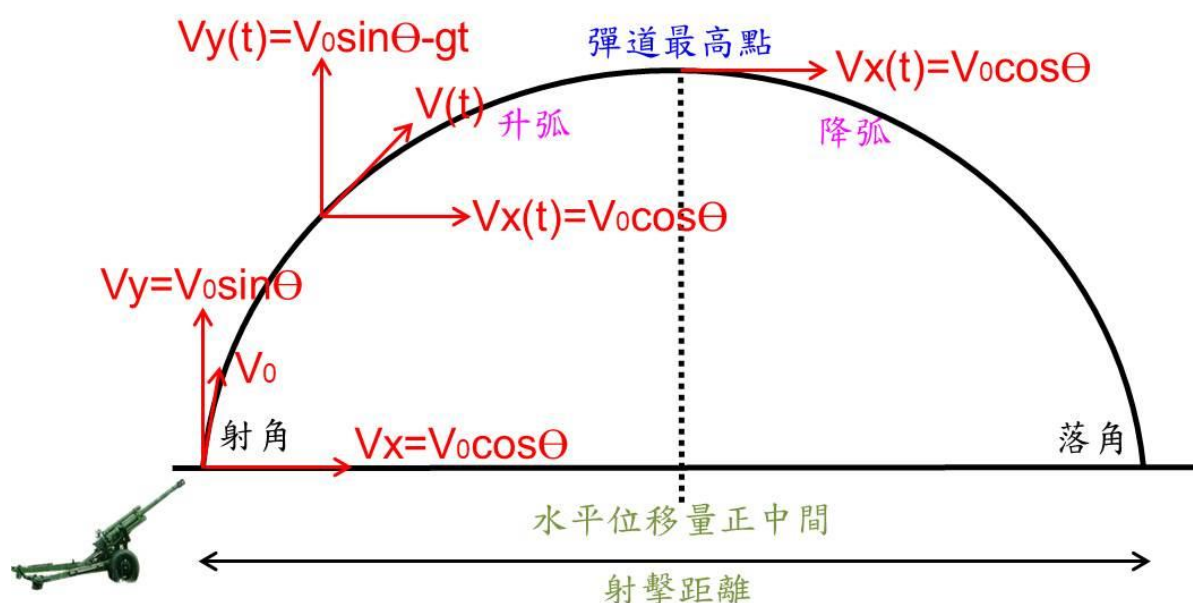


圖 2 真空中彈道示意圖

資料來源：筆者自繪

一、拋射體運動計算法

無論是否受空氣阻力影響，拋射體運動軌跡均建立在斜向拋射（拋射體由下往上運動階段）及水平拋射（拋射體到達頂點後做自由落體運動）物理公式

²同註 1，頁 3-11。

上，以此公式再加上流體力學中「阻力」³之觀念，較為讓人容易理解，並將速度、加速度、阻力及位移量分解成水平與鉛直之概念個別計算，可簡化計算過程，筆者將本研究所運用到的拋射體公式整理如下：

1、彈體出砲口瞬間之水平初速： $V_{x(0)} = V_{(0)} \cdot \cos \Theta$ 。（ $V_{(0)}$ 為初速、 Θ 為火砲仰角）

2、彈體出砲口瞬間之鉛直初速： $V_{y(0)} = V_{(0)} \cdot \sin \Theta$ 。

3、從 t 至 $t+\Delta t$ 秒後之速度： $V_{(t+\Delta t)} = V_{(t)} + a_{(t)} \cdot \Delta t$ 。（ Δt 為時間間隔）

4、從 t 至 $t+\Delta t$ 秒後之水平速度： $V_{x(t+\Delta t)} = V_{x(t)} + a_{x(t)} \cdot \Delta t$ 。

5、從 t 至 $t+\Delta t$ 秒後之鉛直速度： $V_{y(t+\Delta t)} = V_{y(t)} + a_{y(t)} \cdot \Delta t$ 。（數值為正代表彈體上升、數值為負代表彈體下降）

6、從 t 至 $t+\Delta t$ 秒水平位移量： $X_{(t+\Delta t)} = X_{(t)} + V_{x(t)} \cdot \Delta t + 1/2 \cdot a_{x(t)} \cdot \Delta t^2$ 。（加速度公式 $X = V_{(0)}t + 1/2 \cdot at^2$ ）

7、從 t 至 $t+\Delta t$ 秒鉛直位移量： $Y_{(t+\Delta t)} = Y_{(t)} + V_{y(t)} \cdot \Delta t + 1/2 \cdot a_{y(t)} \cdot \Delta t^2$ 。

而加速度部分就必須帶入「阻力」公式來說明了，首先阻力公式表示方式為：

$$F_d = \frac{C_d \times \rho \times A \times V^2}{2}$$

F_d 為阻力

C_d 為阻力係數

ρ 為空氣密度

A 為飛行方向之最大彈體截面積

V 為彈體與空氣之相對速度

當運動中物體質量不變時，可使用牛頓第二定律⁴之表述「物體所受到的外力等於質量與加速度之乘積，而加速度與外力同方向」，以方程式表達即「 $F=ma$ 」， F 為合力、 m 為物體質量並非重量、 a 為加速度，再與阻力公式結合便可得加速度公式如下：

$$F_d = \frac{C_d \times \rho \times A \times V^2}{2} = ma ; a = \frac{C_d \times \rho \times A \times V^2}{2m}$$

既然速度與位移量都已分解成水平與鉛直兩部分，加速度亦須以此概念來探討，水平方向之加速度較為簡單可表示如下：

³阻力（又稱後曳力或流體阻力），是物體在流體中相對運動所產生與運動相反的力。<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/阻力>，2020 年 9 月 21 日。

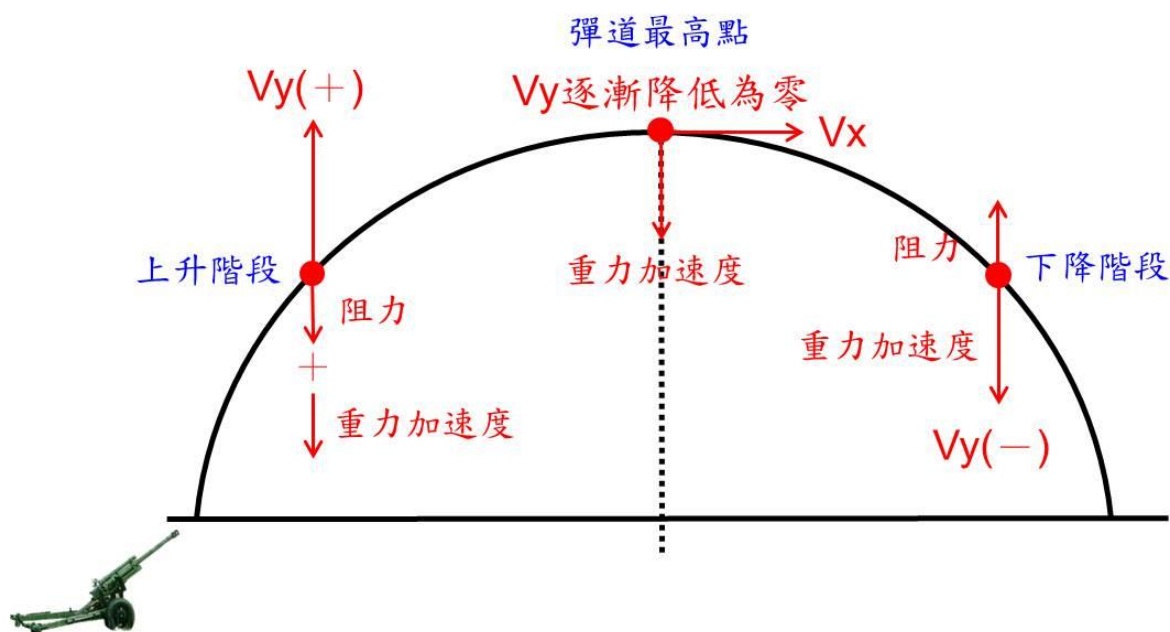
⁴牛頓第二運動定律（Newton's second law of motion），物體所受外力等於質量與加速度之乘積，而加速度與外力同方向。〈<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/牛頓第二運動定律>〉，2020 年 4 月 27 日。

$$a_x = - \left(\frac{C_{dx} \times \rho \times A \times V_x^2}{2 m} \right)$$

由於阻力是與物體運動方向相反之力，彈體的水平速度（ V_x ）逐漸降低，不再為一常數值，因此水平方向加速度必須帶入負值；而鉛直方向之加速度區分上升及下降兩階段說明，上升階段彈體受到阻力及重力相加共同向下之力，彈體的鉛直速度（ V_y ）亦逐漸降低直至為零時，則彈體到達彈道最高點，上升階段鉛直方向加速度為負值，此後彈體以水平拋射自由落體方式開始下降階段，因受重力加速度向下之力關係，彈體的鉛直速度（ V_y ）便由零逐漸增多，下降階段鉛直方向加速度為正值，然而阻力與彈體運動方向相反，導致減少了重力加速度影響彈體之作用力（如圖三），若彈體下降時間夠長，在某個時間點時，向下之重力會等於向上之阻力，此時彈體淨力為零，下降速度便會保持不變，而達到「終端速度」⁵，依圖示鉛直方向之加速度表示如下：

$$a_y = -g - \left(\frac{C_{dy} \times \rho \times A \times V_y^2}{2 m} \right) \quad \text{上升階段}$$

$$a_y = g - \left(\frac{C_{dy} \times \rho \times A \times V_y^2}{2 m} \right) \quad \text{下降階段}$$



圖三 鉛直方向加速度示意圖

資料來源：筆者自繪

⁵終端速度，當向下之重力（ F_g ）相等於向上的阻力（ F_d ），自由落體中的物體會達到終端速度，此時物體的淨力為 0，物體的速度保持不變。〈<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/終端速度>〉，2019 年 11 月 9 日。

現在我們再將水平跟鉛直方向加速度公式帶入水平跟鉛直方向速度及位移量公式內，即可得到完整之計算式如下，將各式完整列出，可方便後續寫入 EXCEL 內運算之公式：

$$V_{x(t+\Delta t)} = V_{x(t)} + \left[- \left(\frac{C_{dx} \times \rho \times A \times V_{x(t)}^2}{2 m} \right) * \Delta t \right] \text{ 水平速度}$$

$$V_{y(t+\Delta t)} = V_{y(t)} + \left\{ \left[-g - \left(\frac{C_{dy} \times \rho \times A \times V_{y(t)}^2}{2 m} \right) \right] * \Delta t \right\} \text{ 上升階段鉛直速度}$$

$$V_{y(t+\Delta t)} = V_{y(t)} + \left\{ \left[g - \left(\frac{C_{dy} \times \rho \times A \times V_{y(t)}^2}{2 m} \right) \right] * \Delta t \right\} \text{ 下降階段鉛直速度}$$

$$X(t+\Delta t) = X(t) + V_{x(t)} * \Delta t + \left[\frac{1}{2} * - \left(\frac{C_{dx} \times \rho \times A \times V_{x(t)}^2}{2 m} \right) * \Delta t^2 \right] \text{ 水平位移量}$$

$$Y(t+\Delta t) = Y(t) + V_{y(t)} * \Delta t + \left\{ \frac{1}{2} * \left[-g - \left(\frac{C_{dy} \times \rho \times A \times V_{y(t)}^2}{2 m} \right) \right] * \Delta t^2 \right\} \text{ 上升階段鉛直位移量}$$

$$Y(t+\Delta t) = Y(t) + V_{y(t)} * \Delta t + \left\{ \frac{1}{2} * \left[g - \left(\frac{C_{dy} \times \rho \times A \times V_{y(t)}^2}{2 m} \right) \right] * \Delta t^2 \right\} \text{ 下降階段鉛直位移量}$$

至此，計算所用到的公式均已完整列出，而在所列舉之計算式中均可看見 $(t+\Delta t)$ 字樣，此字樣所代表意思為「計算在極短時間區間內，物體的速度、加速度及位移量」，當 Δt 越小所得計算數值誤差便會越小，並且將每一計算結果累加後，即可得到近似理論數值之彈道數據（圖 4），亦是本段落論述之基礎。

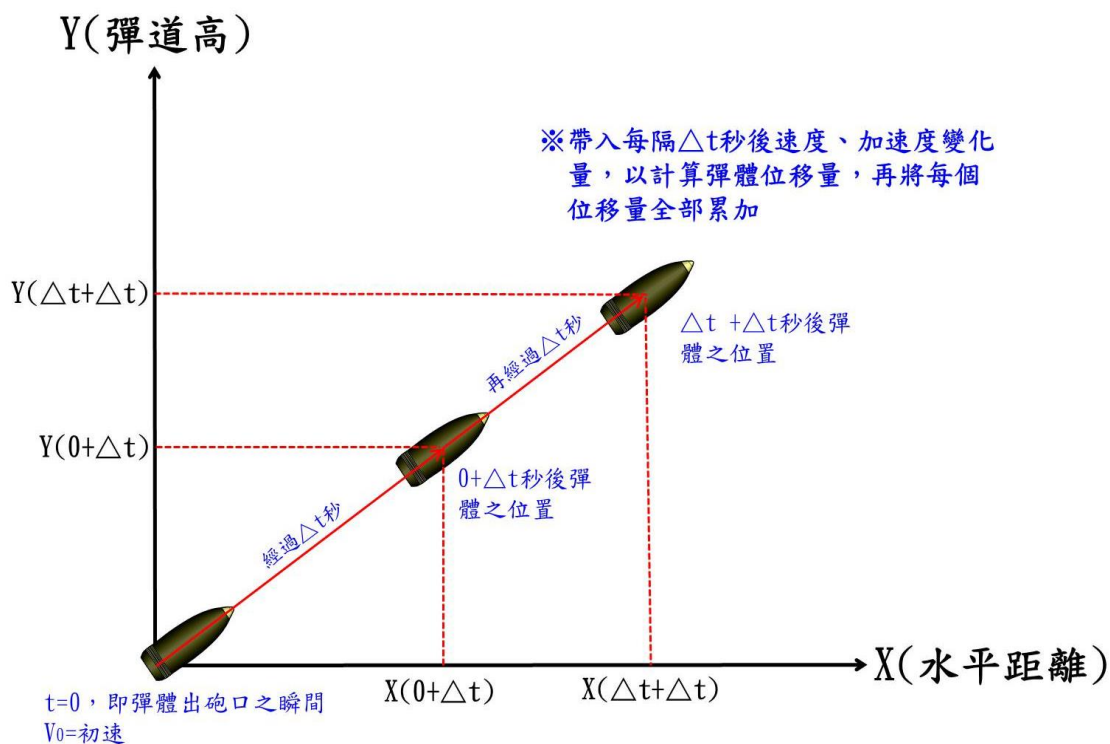


圖 4 計算拋射體在極短時間內位移量示意圖

資料來源：筆者自繪

在標準空氣狀況下，彈體從出砲口開始，便時時刻刻受到空氣阻力影響直到落彈，雖然我們已經列舉各項計算公式，但是舉如阻力係數、空氣密度、彈體截面積、相對速度、物體質量、重力加速度、仰度、初速，甚至力矩等均為影響計算結果之變因，若未知變因數過多，將使推導及計算過程十分複雜，因此我們必須找出這些變因的參數值，目的是為了要產生理論計算之數值，而這些變因之正確參數，正是「逆向工程」所遭遇之最大困難，我們僅能從射表及準則中找尋是否有可供參考之數據，並且「假設」產製射表時是使用這些參數，接下來便逐一探討上述變因之數值。

1、初速、相對速度：各式火砲射表內均可查到在標準砲管下每一號裝藥所產生之初速，如 105 榴砲射表-第 6 版一號裝藥初速為每秒 640 英尺，若以公制為單位（1 公尺等於 3.2808399 英尺）換算後初速為每秒 195.098218 公尺，而在 105 榴砲射表-第 7 版已將初速單位由英制轉為公制，並紀錄為每秒 195.1 公尺；105 榴砲射表-第 6 版二號裝藥初速為每秒 695 英尺，換算公制為每秒 211.836 公尺，而第 7 版射表紀錄為每秒 211.8 公尺，因此我們便可認為射表中所列無論初速、仰度、時間等各式計算數值，均應為四捨五入後之數值，此假設於後續計算時便可得到驗證，而標準空氣便是假設無風之狀況，砲管則為無初速誤差之標準砲管，因此砲彈相對於空氣之速度即為射表所提供各號裝藥之初速。

2、空氣密度：在陸軍野戰砲兵觀測訓練教範（第二版）第 3-35 頁中，說明射表中之標準彈道，係根據下列假定「海水準面標準之空氣密度為每立方公尺 1.225 公斤」⁶計算得之，因此便可將公式中「 ρ 」之數值固定為 1.225 kg/m³。

3、重力加速度⁷：地表附近的所有物體下降的加速度都介於 9.78 m/s² 至 9.83 m/s² 之間，差別則取決於緯度及距地心之距離等因素，位於赤道數值最小、南北極數值最大，然而射表內並無法查到正確參數，僅在第 1 頁中說明火砲是在美國馬里蘭州阿保登試射場射擊，馬里蘭州位於北緯 37 度至 39 度之間，依重力加速度近似公式計算馬里蘭州重力加速度約 9.8 m/s²，而國際標準重力加速度為 9.80665 m/s²，由於無法確認採用何數據，為固定其值將公式中「g」之數值採四捨五入方式假設為 9.81 m/s²。

4、物體質量⁸：牛頓第二運動定律公式中「m」為質量而非重量，質量與重

⁶同註 1，頁 3-35。

⁷重力加速度，是一個物體僅受重力作用的情況下所具有的加速度，近似公式 $9.78046 (1 + 0.0052884 \sin^2 \text{緯度} - 0.0000059 \sin^2 2 \text{倍緯度}) - 0.000003086 \times \text{海拔高度}$ 。維基百科，〈<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/重力加速度>〉，2020 年 2 月 21 日。

⁸質量，用來描述物理學中物質的絕對量。維基百科，〈<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/質量>〉，2020 年 7 月 14 日。

量無論在定義或單位上均不同，質量在任何地方數值均不會改變，重量則會因為在不同地方受到不同重力而有所改變，量測物體質量並不困難，以古老的方法便是使用天秤，因為在天秤兩端之物體受地球重力影響相同，量測數值便為物體質量，因此筆者認為射表所列標準彈重即彈體質量，查閱 105 榴砲射表標準彈重為 33 磅重，以公制為單位（1 磅等於 0.45359237 公斤）換算後為 14.96854821 公斤重，公式中「m」之數值便可固定為 14.96854821 公斤重（Kg · Weight）。

5、彈體截面積⁹：截面是指一個在三維空間下的物體和一平面相交所產生之交集，截面的面積即為截面積，而彈體飛行軌跡中會有 X 軸（水平距離）及 Y 軸（彈道高度）兩軸的相應截面積，且因拋射體運動軌跡關係，每個時刻對應兩軸之截面積均不相同，此數值亦未記載於準則或射表中，為求客觀，筆者採用了北京科學出版社王中原所著「外彈道設計理論與方法」第一章第 8 頁說明「彈體截面積通常取彈體面對運動方向之最大截面積」¹⁰，而假設彈體從發射至落彈均能穩定朝向運動方向，則從運動方向朝向彈體觀看，便是一個圓形，圓面積計算公式為 $\pi * \text{半徑}^2$ ，射表中記載 M2A1 式 105 榴砲陽膛線直徑 4.134 英吋、陰膛線直徑 4.194 英吋，105 公厘榴彈彈體含彈帶直徑必介於此兩者之間，為固定數值，便取其中間值為 4.164 英吋，以公制為單位（1 吋等於 2.54 公分、0.0254 公尺）換算後直徑為 0.1057656 公尺、半徑為 0.0528828 公尺，再計算其截面積，公式中「A」之數值便可固定為 0.008785748 m²。

6、力矩：當彈體在飛行中其彈體縱軸與飛行方向未能重合時，兩者便會出現一夾角，此夾角稱為「偏角」¹¹，在計算射表基礎諸元時，通常會將彈體視為一質點，並假設其偏角非常小，小至可忽略力矩對彈道軌跡之影響，因為偏角不等於 0 時，彈體周圍的壓力就會出現不對稱分佈，其壓力中心會與彈體縱軸相交於某處，若此彈體受地心引力之重心與壓力中心不重疊，即會產生力矩而使砲彈飛行產生不穩定之狀況，如果壓力中心在重心前方就會產生翻轉力矩（如圖五），而為了力求將偏角減至最小限度，便須賦予彈體高速旋轉之力，再對此旋轉力產生之偏差予以修正，即為「偏流」¹²修正，因此可觀察上述所列公式中，在計算質點彈道理論數值時，並無關於力矩之參數項。

⁹截面，為一幾何名詞，指一個在三維空間下的物體和一平面相交所產生之交集，截面的面積即為截面積。〈<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/截面>〉，2019 年 4 月 21 日。

¹⁰王中原、周衛平，《外彈道設計理論與方法》（北京：科學出版社，2004 年 9 月），頁 1-8。

¹¹同註 1，頁 3-36。

¹²同註 1，頁 3-42。

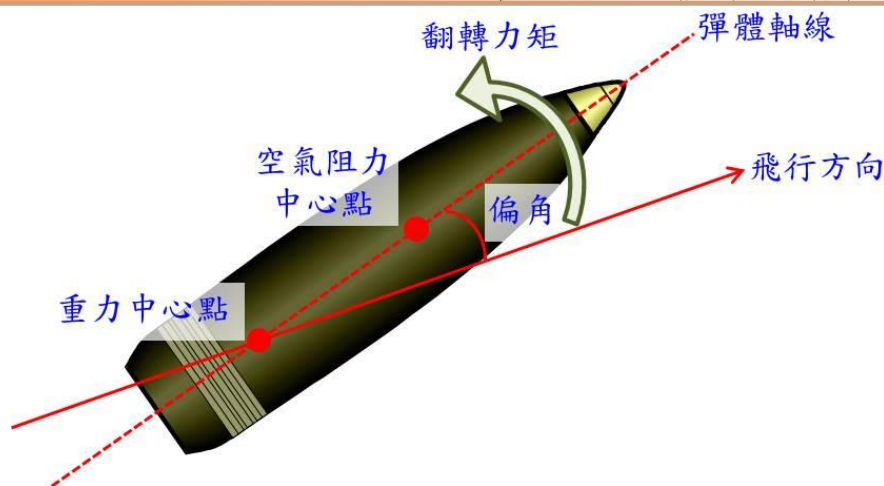


圖 5 彈體軸線與飛行方向不重合時之翻轉力矩示意圖

資料來源：筆者自繪

7、阻力係數：阻力係數對於計算彈道軌跡至關重要，而射表或準則中並未記載各號裝藥、各式彈藥之阻力係數，目前可於射表各號裝藥的第 1 頁查詢到「彈道係數」之數值，而彈道係數¹³乃為以該彈丸克服空氣阻力之能力與所假定標準彈丸克服空氣阻力之能力相比較所得之值，陸軍野戰砲兵觀測訓練教範（第二版）第 3-39 頁中亦列出彈道係數影響阻力之公式如下：

$$\text{減速力 (阻力)} = \frac{\text{阻力係數(Cd)} \times \text{空氣密度}(\rho) \times \text{相對速度之平方}(V^2)}{\text{彈道係數}}$$

由公式可以理解較高之彈道係數會降低計算所得到的阻力值，阻力降低便會增加飛行距離，彈道係數為低時則相反，筆者參考北京國防工業出版社由嚴章庚及祁戴康所著「射表技術」第二章第 20 頁中說明「彈道係數」公式如下：

$$\text{彈道係數} = \frac{(\text{彈體自身阻力係數}/\text{標準彈體阻力係數}) \times \text{彈徑} \times 10^3}{\text{彈重}}$$

而彈道學家早已製訂許多標準彈型之阻力係數，因之使彈道之研究工作簡化甚多，當某一彈型與標準彈型稍有差別時，則將其「彈型因數」¹⁴帶入彈道係數公式中，即可求得其概略阻力係數；我們在先前已先探討過影響彈道計算之各參數項，並將相對速度(V)、空氣密度(ρ)、重力加速度(g)、物體質量(m)、彈體截面積(A)等各項參數固定或假設，而「逆向工程」最困難之處，在於我們僅能有限度地推論各項參數值，若與真實參數有所不同，計算誤差便會反應在尚未假設或固定的「阻力係數」上，並且使最終之結果與射表數值有所差異，這也是本文為何以「近似」射表為題之原因，而「逆向工程」最大的好處即是在於有了所有數值的「結論」，因此後續計算所推導出來的阻力係數雖有誤差，

¹³同註 1，頁 3-38。¹⁴同註 1，頁 3-36。

但仍能使最終計算數值近似於射表數值，最後阻力係數亦應分成X及Y軸分量，並瞭解阻力係數與射彈飛行速度之間的概略關係即可（圖6），可幫助我們後續推導阻力係數時有所參考。

阻力係數

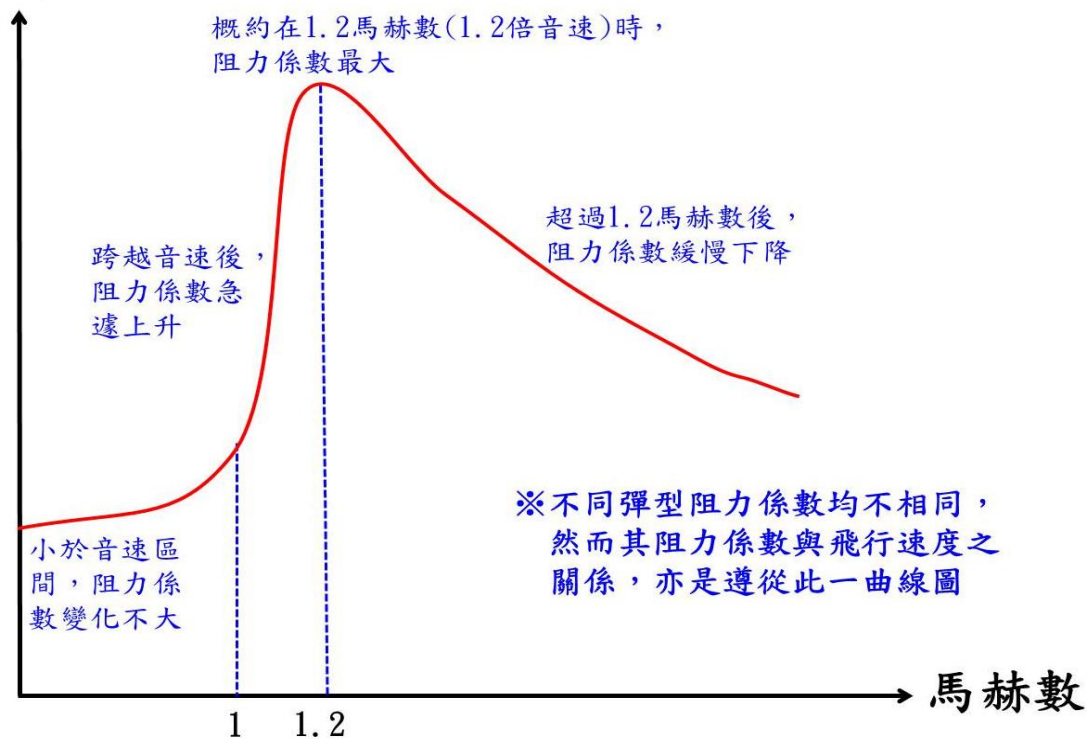


圖6 阻力係數與彈體飛行速度關係示意圖

資料來源：1.嚴章庚及祁戴康所著《射表技術》（北京：國防工業出版，2000年1月），頁2-17。2.筆者整理自繪

二、微積分計算法

由前段論述可知受空氣阻力影響下之彈體無論速度、加速度、位移量均非一常量，而為變量，微積分便是處理變量的數學方法，把一完整彈道之速度及時間函數分割成非常多等分之概念便是微分，再將每一等分之面積全數相加即可得到位移量之概念便是積分，並確定自變數及應變數的參數項目，在彈道計算中，「時間」便是最好的自變數，只要彈體一離開砲管，時間就會開始累積，速度、加速度及位移量均會隨著時間累積而改變，與拋射體運動公式計算邏輯相同，都是在探討極短時間內之速度變化量所產生的結果，然而筆者在微積分推導過程中參閱了非常多參考資料，¹⁵主要是變數變換之概念，還有對那些參數項微分及積分較為複雜，但是微積分導算結果絕對有其價值，因為為使拋射體運動軌跡計算結果符合足夠之精度， Δt 至少須為千分之一秒（0.001秒），再以EXCEL彈道模組運算每個 Δt 時之速度、加速度及位移量，一個完整彈道軌跡所得數據通常為數十萬筆甚至百萬筆，而運用微積分所導算出來的公式，可以

¹⁵本段推導過程及結果最主要參考資料為中興大學機械工程研究所-熱流系統設計與分析-第四章-外流場之課程內容。

迅速求得飛至彈道最高點之時間、彈道最高點高度、降落時間、總飛行時間及水平飛行距離等數值，便可以其結果於大數據庫中快速比對，筆者現在便是以微積分導算結果所得之值與前段計算結果相比較，以驗證前段論述及計算結果是否正確，微積分計算教學及法則並非本文欲探討之重點，本段落接下來僅會列出大概之推導過程及結果，提供有興趣或更有研究、更佳見解之先進指教，不懂微積分計算之讀者亦可直接使用最後導算出來公式（黃底紅字）求取各值：

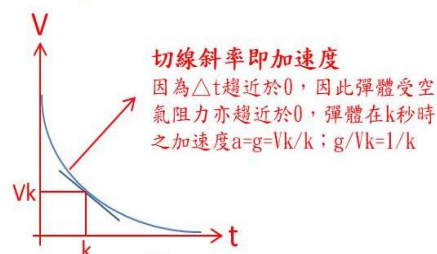
$$F = ma = - \left(mg + \frac{C_d \times \rho \times A \times V^2}{2} \right) = m \frac{dv}{dt} \quad \text{兩邊同除 } m$$

$$\text{終端速度 } V_k = \sqrt{\frac{2mg}{C_d \times \rho \times A}} \quad V_k^2 = \frac{2mg}{C_d \times \rho \times A} \quad \frac{1}{V_k^2} = \frac{C_d \times \rho \times A}{2mg}$$

$$\frac{dv}{dt} = - \left(g + \frac{C_d \times \rho \times A \times V^2}{2m} \right) \quad \text{變數變換 兩邊同乘 } \frac{2m}{C_d \times \rho \times A}$$

$$\frac{2m}{C_d \rho A} \frac{dv}{dt} = - \left(\frac{2mg}{C_d \rho A} + V^2 \right) \quad \text{將兩邊移項}$$

$$\frac{dv}{V^2 + \frac{2mg}{C_d \rho A}} = - \frac{C_d \rho A}{2m} dt \quad \rightarrow \quad g \times \frac{1}{V_k} = \frac{C_d \rho A}{2mg} \times g$$



$$\frac{dv}{V^2 + V_k^2} = - \frac{g}{V_k^2} dt \quad \text{同乘 } V_k \Rightarrow \frac{V_k \times dv}{V^2 + V_k^2} = - \frac{g}{V_k} dt$$

$$\frac{1}{1 + \left(\frac{V}{V_k}\right)^2} d\left(\frac{V}{V_k}\right) = - \frac{1}{k} dt \quad \text{帶入積分法則 } \int \frac{1}{1 + X^2} dx = \arctan x + C$$

$$\tan^{-1}\left(\frac{V}{V_k}\right) = - \frac{t}{k} + C \quad C \text{ 為不定積分常數 當 } t=0, V=\text{初速}=V_0, C = \tan^{-1}\left(\frac{V_0}{V_k}\right)$$

$$\tan^{-1}\left(\frac{V}{V_k}\right) = - \frac{t}{k} + \tan^{-1}\left(\frac{V_0}{V_k}\right)$$

$$\frac{V}{V_k} = \tan \left[-\frac{t}{k} + \tan^{-1} \left(\frac{V_0}{V_k} \right) \right] \quad \text{當砲彈至最高點時 } V=0$$

$$\tan^{-1} \left(\frac{V_0}{V_k} \right) - \frac{t}{k} = 0 \quad \text{移項}$$

$$t_{\text{升}} = k_y \cdot \tan^{-1} \left(\frac{V_{y0}}{V_{yk}} \right) \quad \text{此為彈道至最高點之時間} \quad \frac{V_{yk}}{k_y} = g \quad k_y = \frac{V_{yk}}{g} \quad V_{yk} = \sqrt{\frac{2mg}{C_{dy} \times \rho \times A}}$$

$$\frac{V}{V_k} = \tan \left[-\frac{t}{k} + \tan^{-1} \left(\frac{V_0}{V_k} \right) \right] \quad \text{帶入兩角和公式 } \tan(A-B) = \frac{\tan A - \tan B}{1 + \tan A \tan B}$$

$$\frac{\frac{V_0}{V_k} - \tan \frac{t}{k}}{1 + \frac{V_0}{V_k} \tan \frac{t}{k}} \quad \text{分子、分母同乘 } V_0 \quad A = \tan^{-1} \left(\frac{V_0}{V_k} \right) \quad B = \frac{t}{k}$$

$$= \frac{\frac{V_0^2}{V_k} - V_0 \tan \frac{t}{k}}{\left(1 + \frac{V_0}{V_k} \tan \frac{t}{k} \right) V_0} = \frac{\left(\frac{V_0^2}{V_k} + V_k \right) - \left(V_k + V_0 \tan \frac{t}{k} \right)}{\left(1 + \frac{V_0}{V_k} \tan \frac{t}{k} \right) V_0}$$

$$= \frac{\left(\frac{V_0}{V_k} + \frac{V_k}{V_0} \right) V_0 - V_k \left(1 + \frac{V_0}{V_k} \tan \frac{t}{k} \right)}{\left(1 + \frac{V_0}{V_k} \tan \frac{t}{k} \right) V_0} \Rightarrow \frac{\frac{b}{a} - \frac{d}{c}}{\frac{b \cdot c - a \cdot d}{a \cdot c}}$$

$$= \frac{\left(\frac{V_0}{V_k} + \frac{V_k}{V_0} \right)}{1 + \frac{V_0}{V_k} \tan \frac{t}{k}} - \frac{V_k}{V_0} \quad \text{將本項積分}$$

$$a = 1 + \frac{V_0}{V_k} \tan \frac{t}{k}$$

$$b = \left(\frac{V_0^2}{V_k} + V_k \right) / V_0 = \frac{V_0}{V_k} + \frac{V_k}{V_0}$$

$$c = V_0$$

$$d = V_k$$

$$\int \frac{\left(\frac{V_0}{V_k} + \frac{V_k}{V_0} \right)}{1 + \frac{V_0}{V_k} \tan \frac{t}{k}} d \left(\frac{t}{k} \right)$$

帶入積分法則

$$\int \frac{1}{a + b \tan x} d(x)$$

$$= \frac{ax + b \ln(a \cos x + b \sin x)}{a^2 + b^2}$$

$$a=1 \quad b = \frac{V_0}{V_k} \quad x = \frac{t}{k}$$

$$\left(\frac{V_0}{V_k} + \frac{V_k}{V_0} \right) x \frac{\frac{t}{k} + \left(\frac{V_0}{V_k} \right) \ln \left(\cos \frac{t}{k} + \frac{V_0}{V_k} \sin \frac{t}{k} \right)}{1 + \left(\frac{V_0}{V_k} \right)^2}$$

$$\downarrow$$

$$\frac{V_0^2 + V_k^2}{V_0 \cdot V_k} \quad \frac{1}{\frac{V_0^2 + V_k^2}{V_k^2}}$$

$$\frac{V_k}{V_0} \times \left[\frac{t}{k} + \left(\frac{V_0}{V_k} \right) \ln \left(\cos \frac{t}{k} + \frac{V_0}{V_k} \sin \frac{t}{k} \right) \right]$$

$$\text{最大彈道高 } H = \int V \, dt = V_k * k \int \frac{V}{V_k} d \left(\frac{t}{k} \right) \quad \text{帶入積分結果}$$

$$= V_{yk} * k_y * \ln \left(\cos \frac{t_{\text{升}}}{k_y} + \frac{V_{y0}}{V_{yk}} \sin \frac{t_{\text{升}}}{k_y} \right)$$

至此為彈體飛至彈道最高點時間及最大彈道高度之公式，後續僅要導出彈體從彈道最高點至落點的自由落體時間，加上飛至彈道最高點時間即可得到完整飛行時間，再由完整飛行時間便可推導出水平飛行距離，後續計算仍為變數變換及積分法則之概念，筆者不再列出推導過程，僅列出最終推導公式：

$$\text{自由落體時間 } t_{\text{落}} : V_{yk} * k_y * \ln \left[\cosh \left(\frac{t_{\text{落}}}{k_y} \right) \right] = H \quad ; \text{帶入 } H \text{ 值反求 } t_{\text{落}}$$

$$\text{總飛行時間 } T = t_{\text{升}} + t_{\text{落}}$$

$$\text{水平飛行距離 } L = V_{xk} * k_x * \ln \left(1 + \frac{V_{x0} * T}{V_{xk} * k_x} \right)$$

※鉛直及水平方向之各數
值均應分別求取

由於筆者已將拋射體運動公式寫入 EXCEL 內由電腦計算，因此便可假設一狀況，以比對此兩種計算方法之結果，使用 105 榴彈砲射表（第 7 版）1 號裝藥為例，各項參數設定如下，並將各項參數值分別帶入計算式所得結果如表 1：

- 1、射表初速 $V_0 = 195.0719997$ 。
- 2、射表仰度 $\Theta = 295.5$ ；射表距離=2000；射表時間=11.2；射表彈道高=154。
- 3、空氣密度 $\rho = 1.225$ 。
- 4、重力加速度 $g = 9.81$ 。
- 5、砲彈截面積 $A = 0.008785748$ 。
- 6、105 榴彈彈體質量 $m = 14.96854821$ 。
- 7、時間間隔 $\Delta t = 0.001$ 。
- 8、阻力係數 $C_{dx} = 0.132$ ； $C_{dy} = 0.4838$ 。

表 1 微積分、拋射體運動計算結果與 105 榴砲射表數值對照統計表

	射表數值	微積分 計算值	拋射體運 動計算值	與微積分計算結 果之誤差百分比
飛至彈道最高點時 間（ $t_{\text{升}}$ ，秒）	射表查 無資料	5.586854063	5.587	+0.0026%

最大彈道高 (H, 公尺)	154	154.4780093	154.477015	-0.0006437%
自由落體時間 (t 落, 秒)	射表查 無資料	5.637114316	5.637	-0.00203%
總飛行時間 (T, 秒)	11.2	11.22396838	11.224	+0.0002817%
水平飛行距離 (L, 公尺)	2000	2000.0058509	2000.010436	+0.0002293%

資料來源：筆者自行整理

由上表可見使用兩種不同計算方法，帶入相同之參數值，所得結果幾乎相同，因此可證明前段論述正確可行，另外再將計算結果與射表距離 2000 公尺、射表時間 11.2 秒、射表彈道高 154 公尺相比較，可發現射表所列數值均為計算結果四捨五入後之數值。

使用 EXCEL 建構彈道模組

前段已證明拋射體運動公式計算論述正確可行，後續便是將各式公式寫入 EXCEL 內，由電腦來處理龐大的計算成果，然而 EXCEL 公式及函數語法規則並非本文闡述重點，本文僅會列出每個數值欄位之函數，供欲自製本模組之人員可直接複製函數語法，若對 EXCEL 使用上有一定程度了解的人，便可以快速完成此彈道模組而無需自行摸索，另對 EXCEL 有研究者則可改成更佳的語法，文中各欄位代數及代字均以筆者所自製 EXCEL 彈道模組相應欄位為主，建構彈道模組步驟如次：

一、調製變因參數表

首先我們可以先將前段所探討各項變因製作成一表格（圖 7），用以固定各變因項之欄位及參數值，最後僅調整仰度及阻力係數數值即可（如表內紅色字體），本表須注意某些變因項單位之轉換，如將初速由英尺轉成公尺（英尺/3.2808399）、密位轉成度（密位/17.777777778）、由初速求算水平速度之公式寫法為「初速欄位值*COS（仰度欄位值*PI（）/180）」、求算鉛直速度之公式寫法為「初速欄位值*SIN（仰度欄位值*PI（）/180）」，以本表為例分別為水平速度「B6*COS（B8*PI（）/180）」及鉛直速度「B6*SIN（B8*PI（）/180）」，另外為減少誤差，時間間隔 Δt 必須要夠小，筆者計算所得結論 Δt 至少需為千分之一秒（0.001 秒），在不超過電腦運算負載之前提下， Δt 當然可設定成萬分之一秒（以飛行時間 20 秒來說，同一時間電腦處理計算量約為 200 萬筆）或更小。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		裝藥	射表初速	射表仰度		砲彈截面積(πr^2)			0.008785748	m ²
2	105榴彈砲	1號裝藥	640	295.5		105榴彈體重(m)			14.96854821	kg
3	空氣密度	1.225	kg/m ³			阻力 $dx, dy=(Cd*空密*截面)/2$			0.000710328	0.002603459
4	阻力係數 Cdx	0.132	阻力係數 Cdy	0.4838		水平初速 $Vx(0)$			186.9206102	m/s
5	105榴彈半徑	0.0528828	m			垂直初速 $Vy(0)$			55.80116975	m/s
6	初速	195.0719997	m/s			Δt			0.001	s
7	重力加速度(g)	9.81	m/s ²			水平加速度 $ax(0)=-((阻d/m)*Vx(0)^2)$			-1.658034184	
8	仰度	16.621875	度		出砲口瞬間	上升加速度 $ay(0)=-((阻d/m)*Vy(0)^2+g)$			-10.35157379	

圖 7 各項變因參數表

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		裝藥	射表初速	射表仰度		砲彈截面積(πr^2)			0.008785748	m ²
2	105榴彈砲	1號裝藥	640	295.5		105榴彈體重(m)			14.96854821	kg
3	空氣密度	1.225	kg/m ³			阻力 $dx, dy=(Cd*空密*截面)/2$			0.000710328	0.002603459
4	阻力係數 Cdx	0.132	阻力係數 Cdy	0.4838		水平初速 $Vx(0)$			186.9206102	m/s
5	105榴彈半徑	0.0528828	m			垂直初速 $Vy(0)$			55.80116975	m/s
6	初速	195.0719997	m/s			Δt			0.001	s
7	重力加速度(g)	9.81	m/s ²			水平加速度 $ax(0)=-((阻d/m)*Vx(0)^2)$			-1.658034184	
8	仰度	16.621875	度		出砲口瞬間	上升加速度 $ay(0)=-((阻d/m)*Vy(0)^2+g)$			-10.35157379	
9	$Vk(x,y)$	454.6685909	237.4920013							
10	$k(x,y)$	46.34746085	24.20917445				Vy 落地速度	55.02900718		
11	最高點時間	5.58685406	彈道最高點	154.47801	降落時間	5.6371143	總飛行時間	11.22396838	飛行距離	2000.0058509

圖 8 微積分計算各欄位數值示意圖

資料來源：圖 7、圖 8 均為筆者自繪

二、寫入微積分計算公式

將微積分計算公式寫入 EXCEL 內可方便使用者非常快速的得到「飛至最高點時間」、「彈道最高點」、「降落時間」、「總飛行時間」及「水平飛行距離」等正確數值，再以上述數值與拋射體運動公式相互比對，找到最接近之數值，筆者將微積分計算公式及結果寫在變因參數表下方（圖 8），可方便比對及查找，各欄位函數語法如下：

- 1、 $V_{xk} = ((2 * I2 * B7) / (B4 * B3 * I1)) ^{0.5}$ 。
- 2、 $V_{yk} = ((2 * I2 * B7) / (D4 * B3 * I1)) ^{0.5}$ 。
- 3、 $k_x = B9 / B7$ 。
- 4、 $k_y = C9 / B7$ 。
- 5、最高點時間 = (ATAN (RADIANS (I5/C9) * 180/PI ())) * C10。
- 6、彈道最高點 = $C9 * C10 * \text{LN} (\text{COS} (\text{RADIANS} (B11/C10) * 180/\text{PI} ())) + ((I5/C9) * \text{SIN} (\text{RADIANS} (B11/C10) * 180/\text{PI} ()))$ 。
- 7、降落時間 = (ACOSH (EXP (D11/C9/C10))) * C10。
- 8、總飛行時間 = B11 + F11。

9、水平飛行距離= $B9*B10*LN(1+((I4*H11)/(B9*B10)))$ 。

三、寫入拋射體運動公式

若要使用 EXCEL 繪製彈道曲線圖，就必須要有非常多的 X，Y 座標資料，而拋射體運動公式正好可滿足上述條件，我們必須把前段所列舉出完整之拋射體運動公式，全數寫入 EXCEL 內，共計 10 個項次，各項次函數語法如下：

1、時間 (t) =0+\$I\$6 (時間由 0 開始)；時間 (t+△t) =A13+\$I\$6 (後續時間則由前一個時間+△t，於該欄位下拉複製公式即可 (圖 9))。

2、水平速度 $V_x(t) =I4+(I7*\$I\$6)$ ，而 $V_x(t+△t)$ 之數值為前一個時間當下的速度 $V_x(t)$ 加上前一個時間當下的加速度 $a_x(t)$ 與時間間隔之乘積 $△t$ ，函數語法為 $V_x(t+△t) =B13+(H13*\$I\$6)$ ，後續速度均為相同概念，於該欄位下拉複製公式即可 (圖 9))。

3、鉛直速度必須區分為上升與下降兩階段來實施計算 (圖 9)，上升階段 $V_y(t)_{上} =I5+(I8*\$I\$6)$ ，上升之 $V_y(t+△t)$ 數值為前一個時間當下的速度 $V_y(t)$ 加上前一個時間當下的上升階段加速度 $a_y(t)$ 與時間間隔之乘積 $△t$ ，函數語法為 $V_y(t+△t)_{上} =C13+(I13*\$I\$6)$ ，後續速度均為相同概念，於該欄位下拉複製公式即可， $V_y(t+△t)$ 之數值因為受空氣阻力影響會越來越小，當數值由正轉負時，便可判斷彈體開始下降；下降階段 $V_y(t)_{降} =C5599-(J5599*\$I\$6)$ ，下降之 $V_y(t+△t)$ 數值為前一個時間當下的速度 $V_y(t)$ 加上前一個時間當下的下降階段加速度 $a_y(t)$ 與時間間隔之乘積 $△t$ ，函數語法為 $V_y(t+△t)_{降} =D5600-(J5600*\$I\$6)$ ，後續速度均為相同概念，於該欄位下拉複製公式即可。

4、水平距離 $X(t) =0+I4*\$I\$6+(I7*\$I\$6^2)/2$ (砲彈初始 X 座標為 0)；而 $X(t+△t)$ 之數值為前一個時間的砲彈 X 座標加上前一個時間當下的水平速度 $V_x(t)$ 與時間間隔 $△t$ 之乘積，再加上前一個時間當下的二分之一加速度 $a_x(t)$ 與時間間隔 $△t$ 平方之乘積，函數語法為 $X(t+△t) =E13+B13*\$I\$6+(H13*\$I\$6^2)/2$ ，後續水平距離均為相同概念，於該欄位下拉複製公式即可 (圖 9))。

5、鉛直位移量亦必須區分為上升與下降兩階段來實施計算 (如圖九)，上升階段 $Y(t)_{上} =0+I5*\$I\$6+(I8*\$I\$6^2)/2$ ，而上升之 $Y(t+△t)$ 數值為前一個時間的砲彈 Y 座標加上前一個時間當下的水平速度 $V_y(t)$ 與時間間隔 $△t$ 之乘積，再加上前一個時間當下的二分之一加速度 $a_y(t)$ 與時間間隔 $△t$ 平方之乘積，函數語法為 $Y(t+△t)_{上} =F13+C13*\$I\$6+(I13*\$I\$6^2)/2$ ，於該欄位下拉複製公式，當 $V_y(t+△t)$ 之數值由正轉負時，便可判斷彈體開始下降，下降階段 $Y(t)_{降} =F5599+C5599*\$I\$6+(J5599*\$I\$6^2)/2$ ，下降之 $Y(t+△t)_{降} =G5600+J5600*\$I\$6+(K5600*\$I\$6^2)/2$ ，後續鉛直位移量均為相同概念，於該欄位下拉複製公式即可。

Δt) 數值為前一個時間當下的速度 $V_y(t)$ 加上前一個時間當下的下降階段加速度 $a_y(t)$ 與時間間隔之乘積 Δt ，函數語法為 $V_y(t + \Delta t)$ 降 = $G5600 + D5600 * \$I\$6 + (J5600 * \$I\$6^2) / 2$ ，後續均為相同概念，於該欄位下拉複製公式即可。

6、水平加速度 $a_x(t) = -(\$I\$3 / \$I\$2) * B13^2$ ，而 $a_x(t + \Delta t)$ 之數值為 X 軸阻力係數值 (C_{dx}) 除以彈重再乘以 $V_x(t + \Delta t)$ 平方，所得數值帶入負號，函數語法為 $a_x(t + \Delta t) = -(\$I\$3 / \$I\$2) * B14^2$ ，後續水平加速度均為相同概念，於該欄位下拉複製公式即可（如圖九）。

7、鉛直加速度同樣必須區分為上升與下降兩階段來實施計算（如圖九），上升階段 $a_y(t)$ 上 = $-\$B\$7 - ((\$J\$3 / \$I\$2) * C13^2)$ ，上升之 $a_y(t + \Delta t)$ 上數值為負的重力加速度數值減去 Y 軸阻力係數值 (C_{dy}) 除以彈重再乘以 $V_y(t + \Delta t)$ 上平方，函數語法為 $a_y(t + \Delta t)$ 上 = $-\$B\$7 - ((\$J\$3 / \$I\$2) * C14^2)$ ，下降階段 $a_y(t)$ 降 = $F5599 + C5599 * \$I\$6 + (J5599 * \$I\$6^2) / 2$ ，下降之 $a_y(t + \Delta t)$ 數值為正值重力加速度數值減去 Y 軸阻力係數值 (C_{dy}) 除以彈重再乘以 $V_y(t + \Delta t)$ 降平方，函數語法為 $a_y(t)$ 降 = $\$B\$7 - ((\$J\$3 / \$I\$2) * D5600^2)$ ，後續均為相同概念，於該欄位下拉複製公式即可。

本段落看似複雜，但事實上所有函數邏輯均是依拋射體運動公式逐一建立，這也是前段敘述中所提到為何需要把完整公式逐一列出之原因，只要依樣畫葫蘆建立與範例相同表格，並將筆者所提供的所有函數語法全數輸入，留意紅框處的部分，其餘均是按造非常規則之邏輯往下遞加而已，對 EXCEL 熟練的人，製作此表僅需 2-3 小時即可完成（圖 10）。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		裝藥	射表初速	射表仰度			砲彈截面積(πr^2)		0.008785748	m ²
2	105榴彈砲	1號裝藥	640	295.5			105榴彈體重(m)		14.96854821	kg
3	空氣密度	1.225	kg/m ³				阻力 $dx, dy = (C_d * \text{空密} * \text{截面}) / 2$		0.000710328	0.002603459
4	阻力係數 C_{dx}	0.132	阻力係數 C_{dy}	0.4838			水平初速 $V_x(0)$		186.9206102	m/s
5	105榴彈半徑	0.0528828	m				垂直初速 $V_y(0)$		55.80116975	m/s
6	初速	195.0719997	m/s				Δt		0.001	s
7	重力加速度(g)	9.81	m/s ²		出砲口瞬間	水平加速度 $a_x(0) = -(阻d/m) * V_x(0)^2$			-1.658034184	
8	仰度	16.621875	度			上升加速度 $a_y(0) = -((阻d/m) * V_y(0)^2 + g)$			-10.35157379	
9	$V_k(x,y)$	454.6685909	237.4920013							
10	$k(x,y)$	46.34746085	24.20917445				Vy落地速度	55.02900718		
11	最高點時間	5.58685406	彈道最高點	154.47801	降落時間	5.6371143	總飛行時間	11.22396838	飛行距離	2000.0058509
12	時間(t)	$V_x(t)$	$V_y(t)$ 上	$V_y(t)$ 降	X(t)	Y(t)上	Y(t)降	$a_x(t)$	$a_y(t)$ 上	$a_y(t)$ 降
13	0.001	186.9189522	55.79081818		0.186919781	0.055795994		-1.6580047702	-10.35137288	
14	0.002	186.9172942	55.7804668		0.373837904	0.111581636		-1.657975357	-10.351172	
15	0.003	186.9156362	55.77011563		0.56075437	0.167356928		-1.657945944	-10.35097117	
5597	5.585	178.0975126	0.017924767		1018.916024	154.4769988		-1.505202074	-9.810000056	
5598	5.586	178.0960074	0.008114767		1019.094121	154.4770118		-1.505176632	-9.810000011	
5599	5.587	178.0945023	-0.001695233		1019.272216	154.477015		-1.50515119	-9.81	9.81
5600	5.588	178.0929971	-0.011505233	-0.011505233	1019.45031	154.4770084	154.4770182	-1.505125749	-9.810000023	9.809999977
5601	5.589	178.091492	-0.021315234	-0.021315233	1019.628402	154.476992	154.4770116	-1.505100308	-9.810000079	9.809999921

$V_y(t)$ 之數值由正轉負，代表彈道最高點發生時間介於 5.586 秒至 5.587 秒區間

上升階段與下降階段加速度正負值不同

5、落角= $(-(\text{ATAN}(N2/M2)*180/\text{PI}()))*17.7777777777777$ 。

6、落角餘切= $(M2/N2)$ 。

7、末速(英呎)= $((M2^2+N2^2)^{0.5})*3.2808399$ 。

8、末速(公尺)= $S/3.2808399$ 。

L	M	N	O	P	Q	R	S	T
時間(t)	Vx(t)	Vy(t)降	X(t)	Y(t)降	落角	落角餘切	末速	末速(m)
10	171.6910411	-42.82011451	1790.901565	59.5138078	248.9599915	4.009588557	580.5453	176.95021
10.001	171.6896423	-42.8296056	1791.073255	59.47099244	249.0149503	4.008667366	580.548383	176.95115
10.002	171.6882434	-42.83909655	1791.244944	59.42816758	249.0699076	4.007746598	580.551468	176.95209
10.003	171.6868446	-42.84858735	1791.416631	59.38533322	249.1248636	4.006826251	580.554554	176.95303
10.004	171.6854458	-42.85807802	1791.588317	59.34248938	249.1798182	4.005906325	580.557642	176.95397
10.005	171.6840471	-42.86756855	1791.760002	59.29963605	249.2347713	4.00498682	580.560732	176.95491
10.006	171.6826483	-42.87705893	1791.931686	59.25677323	249.2897231	4.004067737	580.563823	176.95585
10.007	171.6812496	-42.88654917	1792.103368	59.21390091	249.3446734	4.003149073	580.566916	176.9568
10.008	171.6798509	-42.89603927	1792.275048	59.17101911	249.3996223	4.00223083	580.570011	176.95774
10.009	171.6784522	-42.90552923	1792.446727	59.12812781	249.4545698	4.001313007	580.573107	176.95868
10.01	171.6770535	-42.91501905	1792.618405	59.08522703	249.509516	4.000395604	580.576205	176.95963

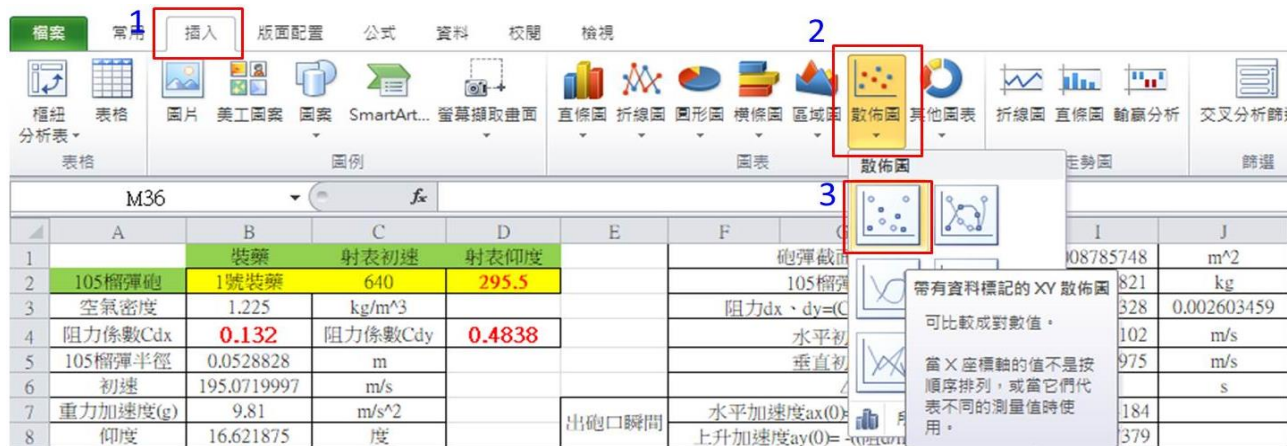
僅需輸入黃底空格之時間數值，便可同時顯示所有參數值

圖 11 參數求取作業區設置示意圖

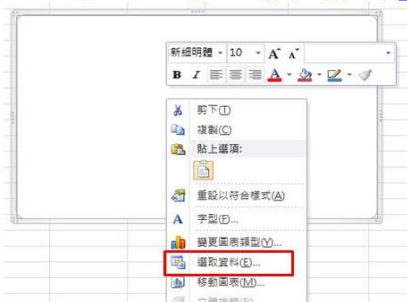
資料來源：筆者自繪

五、繪製彈道曲線圖

當完成所有表格及函數建置後，便可以得到彈道完整的 X，Y 座標資料，此時即可使用 EXCEL 繪製彈道曲線圖，首先於分頁選擇「插入」後，點選「散佈圖」，點選「帶有資料標記的 XY 散佈圖」，此時便會出現一空白 XY 分布圖，並在此空白分布圖上任一處使用滑鼠右鍵，點選「選取資料」，出現「選取資料來源」對話框後點選「新增」，出現「編輯數列」對話框，第 1 欄「數列名稱」可輸入自己想要的名稱，本範例輸入「=彈道曲線圖」、第 2 欄「數列 X 值」依本圖範例輸入「=工作表 3!\$E\$13:\$E\$11237」、第 3 欄「數列 Y 值」依本圖範例輸入「=工作表 3!\$V\$14:\$V\$11238」(欄位必須符合自己所建立的 EXCEL 相應欄位)，若依筆者所提供的範例逐動輸入，並完成此模組之建置，最後再依個人喜好調整線條顏色、粗細及 X、Y 軸數值，即可產生彈道曲線圖(圖 12)。



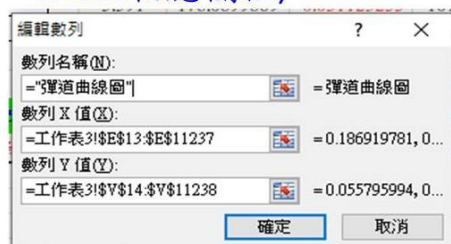
4.此時便會出現一空白XY分布圖，並在此空白分布圖上任一處使用滑鼠右鍵，點選「選取資料」



5.出現「選取資料來源」對話框，點選「新增」



6.數列名稱可輸入自己想要的名稱、數列X值及Y值依本圖範例輸入(欄位必須符合自己所建立的EXCEL相應欄位)



7.若依筆者所提供的範例逐動輸入，並完成此模組之建置，即可產生彈道曲線圖，最後再依個人喜好調整線條顏色、粗細及XY軸數值。

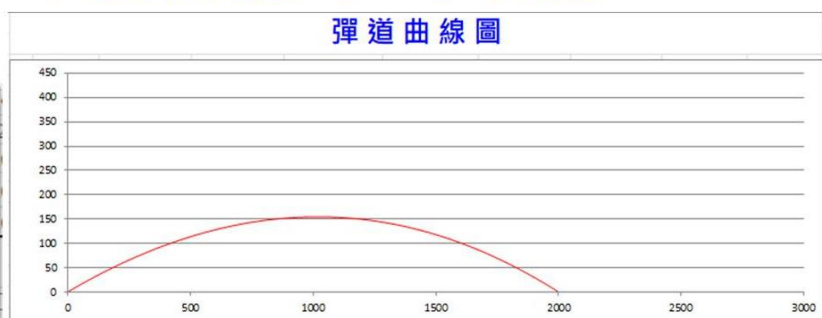


圖 12 繪製彈道曲線步驟示意圖

資料來源：筆者自繪

EXCEL 彈道模組之運用

囿於篇幅關係，筆者僅概略說明 EXCEL 彈道模組運用的幾個方法，爾後再針對使用 EXCEL 彈道模組輔助射彈修正課程之作法加以說明，基本運用方法如下：

一、調製阻力係數參數表

本研究先前已說明必須儘可能客觀的固定影響彈道之變因參數，並且將假

設與實際數值所產生之彈道計算誤差，集中在阻力係數 **Cdx** 及 **Cdy** 此兩個變因上，如此便可輕鬆推算此兩者於各號裝藥、不同仰度、不同距離之數值，再將所得數值製成表格，後續使用彈道模組時，直接輸入表內 **Cdx** 及 **Cdy** 之數值即可，筆者以 105 榴彈射表第 7 版為例，製作 1 號裝藥每 500 公尺彈道參數表，表內黑色字體為射表所列數值、藍色字體為彈道模組計算所得數值、紅色字體為推算之阻力係數數值，若射表數值與彈道模組計算數值不同則以黃底顯示（如表二）。

表 2 105 榴砲射表第 7 版 1 號裝藥阻力係數表

距離	1 射表 仰度	2 計算 仰度	3 Cdx	4 Cdy	5 射表 頂點	6 計算 頂點	7 射表 時間	8 計算 時間
500	66.6	66.67	0.1335	0.695	8	8	2.6	2.6
1000	136.7	136.7	0.1335	0.695	34	34	5.3	5.3
1500	212.0	212.0	0.1334	0.5804	81	81	8.2	8.15
2000	295.5	295.5	0.132	0.4838	154	154	11.2	11.224
2500	393.1	393.1	0.13194	0.3996	264	264	14.7	14.686
3000	520.7	520.65	0.1345	0.3121	442	442	19.0	18.977
3000(高)	1042.4	1042.41	0.18528	0.15778	1311	1311	32.9	32.707

計算仰度取4捨5入後，
與射表數值完全相同

計算時間取4捨5入後，除高
射界數值誤差0.193秒外
，餘與射表數值完全相同

距離	9 至頂點 時間	10 至頂點 距離	11 射表 落角	12 計算 落角	13 射表落 角餘切	14 計算落 角餘切	15 射表 末速	16 計算 末速
500	1.298	251.1	68	68	15.0	14.9	190	190
1000	2.645	505.2	141	142.2	7.2	7.12	186	186
1500	4.063	761.3	222	223.7	4.5	4.5	182	182
2000	5.582	1018.7	314	315	3.1	3.1	178	178
2500	7.296	1279	423	423	2.3	2.3	175	175
3000	9.409	1541.9	564	563.2	1.6	1.6	172	172.9
3000(高)	16.149	1556.1	1099	1098	0.5	0.5	175	175.6

計算所得落角、落角餘切、末速均
與射表數值誤差非常小

資料來源：筆者自行整理

二、製作所望之彈道曲線圖

調製完阻力係數表得到近似射表之彈道數值後，便可以依個人需求製作彈道曲線圖了，筆者依 1 號裝藥阻力係數表參數值，依序繪製每 500 公尺之彈道曲線圖，再將各曲線圖套疊，所得結果如圖 13，使用者可將滑鼠點至曲線圖上任一點，即會顯示該點之 X 及 Y 座標（圖 14）。

由於射表僅提供每 500 公尺距離之「落角」、「落角餘切」及「末速」數值，因此要儘可能藉由這些正確數值反推每 500 公尺距離之阻力係數，再使用差算法之方式求取每百公尺、五十公尺、甚至每公尺之阻力係數，使用差算法所推算之數值雖然並無射表正確之「落角」、「落角餘切」及「末速」數值可供驗證，然而就本文圖六「阻力係數與彈體飛行速度關係圖」所示，阻力係數在彈體飛行速度由次音速跨越至音速之間變化最為劇烈，而同一裝藥之初速均相等，阻力係數在此一裝藥之變化則相對穩定，表三為 1 號裝藥 2500 公尺至 3000 公尺間，每百公尺之阻力係數及飛行時間表，並且再以其數值繪製每百公尺之彈道曲線圖（圖 15）。

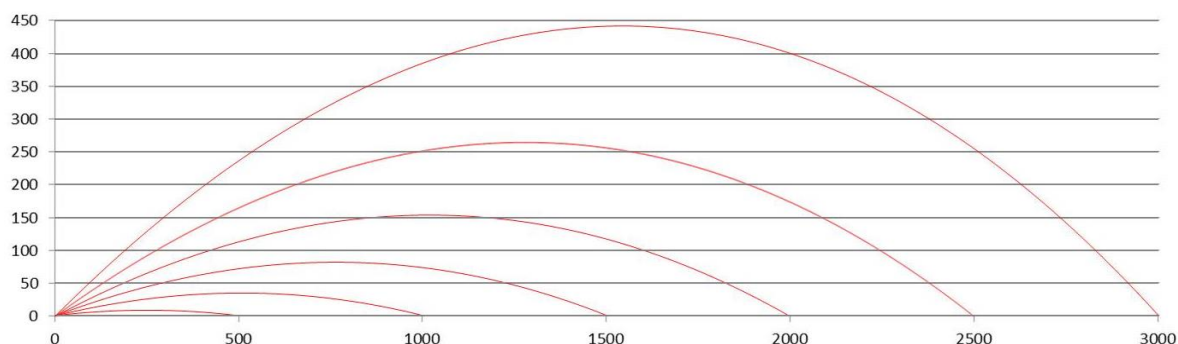


圖 13 1 號裝藥每 500 公尺距離之彈道曲線圖



圖 14 可瞭解彈道上任一點之水平距離及彈道高度

表 3 105 榴砲射表第 7 版 1 號裝藥 2500 至 3000 公尺，每百公尺阻力係數表

	1	2	3	4	5
距離	射表仰度	CDx	CDy	射表時間	計算時間
2500	393.1	→ 0.13194	0.3996	14.7	14.686
2600	415.3	0.132452	0.3821	15.5	15.455
2700	438.8	0.132964	0.3646	16.3	16.258
2800	463.9	0.133476	0.3471	17.1	17.105
2900	491.0	0.133988	0.3296	18.0	18.006
3000	520.7	→ 0.1345	0.3121	19.0	18.977

使用差算法求取各區間之阻力係數

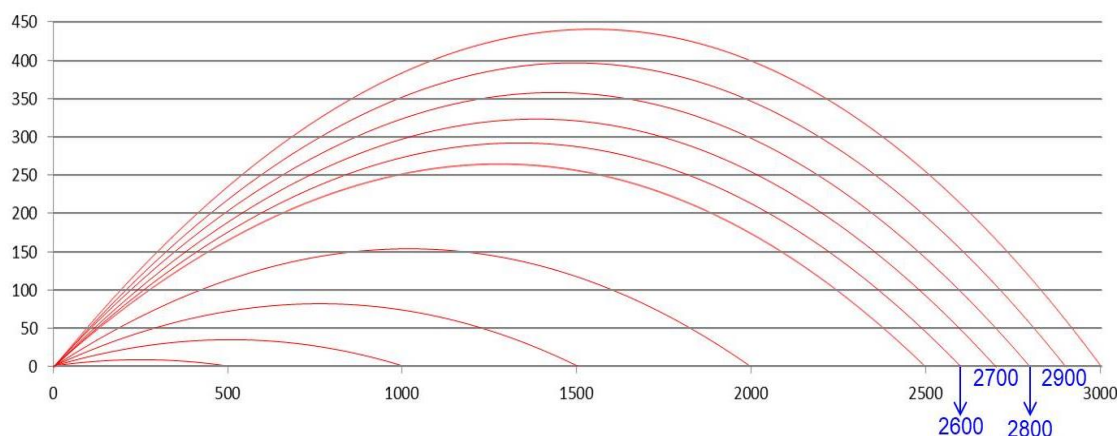


圖 15 增繪 2500 至 3000 公尺之間每百公尺彈道曲線圖

資料來源：表 3、圖 13、圖 14、圖 15 均為筆者自行整理及繪製

三、射擊死界之判定更加準確

以 105 榴彈砲射表第 7 版 1 號裝藥低射界射擊為例，欲對砲目距離 3000 公尺與陣地同標高之目標實施射擊，在砲目線上有一山丘，山頂與陣地之標高差為 430 公尺、距離砲陣地之水平距離 1800 公尺，查射表僅可得知射擊仰度 520.7 密位、最大彈道高 442 公尺、飛行時間 19.0 秒，但卻無法得知彈體是否可越過此山頂？然而藉由 EXCEL 彈道模組計算結果，可得到飛至彈道最高點時之水平距離為 1542.057709 公尺，飛至彈道最高點時間 9.41 秒，在水平距離 1800 公尺處時之彈道高為 428.2524913 公尺、飛行至此點所需時間 11.054 秒，因此此山頂即構成火炮於 1 號裝藥低射界射擊時之死界，射擊指揮所便可改為高射界射擊（圖 16）。

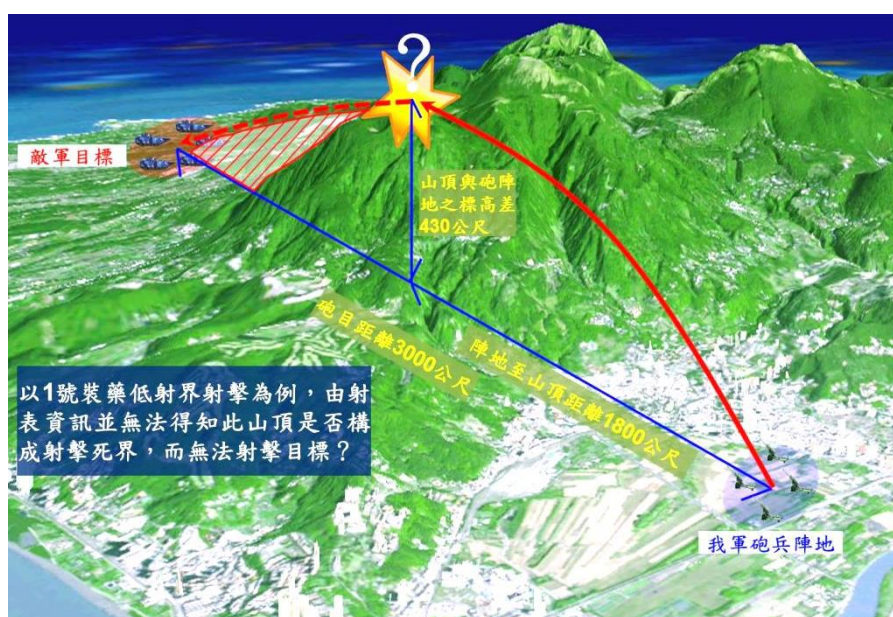


圖 16 射擊死界判定示意圖

資料來源：1.底圖引自林俊賢，《灘岸殲敵野戰防空戰術運用探討》，陸軍砲兵訓練指揮部 107 年戰術戰法，107 年 8 月。2.筆者自行整理及繪製

結論

陸軍野戰砲兵觀測訓練教範（第二版）第三至五章之內容甚為寶貴實用，除對於彈道學之概念做了非常多的解釋，甚至有對各種目標之射擊效果，若可將教範所闡述各種觀念結合，基本上就可初步瞭解彈道計算機之原理，然而這幾章之內容無論在專長教育或教學研究上，均甚少探討或鑽研，實為可惜。

另外筆者在過往教學及輔訓實務經驗中，常需針對射彈修正後所產生之結果實施解說，卻發覺所產生之結果往往僅是推論而未能具體化，因此筆者希望藉由建構 EXCEL 彈道模組，體現彈道飛行軌跡及數據，作為輔助教學之工具，使學者更容易一窺彈道現象，並且藉由本篇論述表達基礎彈道學之理念，畢竟 EXCEL 不是專業彈道計算及繪圖軟體，在使用上仍然需要以人工採多項步驟操作方式完成，若可激發共鳴達到拋磚引玉之效果，使更多人瞭解彈道計算機之概念，相信可使彈道模組之界面、功能與運用更加完善。

參考文獻

- 一、《陸軍野戰砲兵觀測訓練教範（第二版）》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 99 年 11 月 10 日）。
- 二、中興大學機械工程研究所，熱流系統設計與分析－第四章－外流場之課程內容，2014 年。
- 三、王中原、周衛平，《外彈道設計理論與方法》（北京：科學出版社，2004 年 9 月）。
- 四、嚴章庚、祁戴康，《射表技術》（北京：國防工業出版社，2000 年 1 月）。

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，現任職於陸軍砲兵訓練指揮部射擊教官組。

軍事作業研究之火協作戰效能綜述：

武器作戰效能、武器－目標分配及演算法應用

作者：萬忠孝、萬德威

提要

- 一、作業研究（Operational Research）始於第二次世界大戰期間，目的為有效配置各項資源。環境中的各種限制均會影響決策發展。而如何有效運用資源，以達武器耗損最小及目標戰損最大，是指揮官的重要課題。
- 二、國軍武獲不易，彈藥、裝備等均受限制，空軍雖明定各型戰機空、地掛載外型，但在聯合作戰的複雜環境中，戰機升空後即無法變更掛載，因此，本研究將針對陸軍地面部隊空援申請攻擊之目標，規劃武器掛載及戰機數量，建立適合基層部隊使用之武器選擇及彈藥數量之演算法應用。
- 三、空攻想定以 F16 為例，假設虛擬武器 P_k 值及傷害值，在戰機有限的佔位掛載下，做最佳武器掛載及戰機數量組合決策，並有效協助地面部隊執行密接作戰。因部分數據為無法取得，故以虛構值代替。
- 四、本研究藉此機會傳達武器效能及武器－目標分配之重要性。而兩項研究都與火協作戰效能有著密切的關係，並為有興趣之研究人員進一步充當未來研究的墊腳石。

關鍵詞：作業研究、作戰效能、武器作戰效能、武器－目標分配、線性規劃

前言

作業研究（Operational Research），又稱運籌學或管理科學，源自二次世界大戰，英、美兩國為了有效配置資源，組織了一群數理學家，針對軍事決策進行研究，結果協助聯軍打贏了不列顛空戰（Air Battle of Britain）、北大西洋戰爭（Battle of the North Atlantic）、太平洋島嶼戰爭（Island Campaign in the Pacific）等戰役。戰爭結束後，作業研究形成顯學，並運用到戰後復甦的各行各業中，為追求優化作業流程、最小化成本支出或最大化獲利等領域。基於作業研究理論發展，衍生了許多分支學派，從最早的數理規劃、線性、非線性規劃、整數規劃及組合最佳化等。當然，先進國家中的軍事發展，更是離不開作業研究，而軍事作業研究目的為最小化我方資源消耗及最大化敵方戰損。

研究學者開發了各式各樣的演算法來解決所遇到的問題，而演算法就是以數學的方式來解決問題，如：基因演算法、退火法、螞蟻演算法、模糊演算法、拍賣演算法、最短路徑等，而各種演算法運用到不同領域時，又有各自的優化演算法，種類繁多。本研究基於作業研究，探討空援申請之作戰效能、武器作

戰效能及武器－目標分配等議題，另外假設武器傷害值發展演算法，演算結果提供指揮官在空援申請時，武器掛載需求及戰機數量。

作戰效能

作戰效能(Combat Effectiveness)，即是戰力。抽象、難以形容，而 Hodgson, J. (1957) 提出作戰效能(Combat Effectiveness)是對軍隊能力的一種度量，在資源有限的情況下軍事單位在作戰行動中達成目標的機率。¹Philip Hayward (1965) 也指出一種令人滿意的定量評估軍事作戰效能的方法是其作戰成功的機率²。Hayward 根據三個主要因素分析了該措施：能力：敵我雙方人力、物力的質與量；環境：天氣和地形；任務：保持指定目標和完成該目標所需的時間，此研究大幅度地減少達成目標所需要的成本。

作戰成功的可能性：

$$= P(S)$$

$$= f(x_1 \dots x_n; y_1 \dots y_n; e_1 \dots e_n; m_1 \dots m_n) \quad (1)$$

x_i = 友軍能力

y_i = 敵軍能力

e_i = 環境參數

m_i = 任務參數

友軍能力為已知，但敵軍能力、環境參數及任務參數為不完整信息（部分已知或無法評估），用 z 取代，公式得：

$$P(S) = f(x, z)$$

其中 x 代表友方部隊的能力， z 代表作戰情況下的所有其他因素，即敵人，環境和任務。公式得：

$p(z)$ = 作戰時遇到狀況 z 的機率。

可得我方平均戰力公式得：

$$\overline{P(S)} = \int f(x, z) p(z) dz = G(x) \quad (2)$$

Hayward 用數學的方式定義作戰效能，也是兩個獨立部隊之間的比較值。任務達成與否不僅取決於部隊的能力，還取決於敵人的素質、作戰環境及任務

¹ Hodgson, J., "A Generalized Analysis of War Gaming (CORG Memorandum)," CORG Memorandum, Tech/Ops, Combat Operations Research Group, 1957.

² Philip Hayward, "The Measurement of Combat Effectiveness," INFORMS Operations Research, 1965, Vol.16, No.2, pp.314-323.

難易程度。而任務的難易度往往與攻擊的目標物高度相關，目標物可能是一輛坦克、一架飛機、雷達陣地或是敵指揮所或者高價值目標，這些目標由指揮官決策而定。目標確認後，下一步就是針對目標選擇較高效能的武器予以攻擊。

武器作戰效能

毫無疑問，武器作戰效能（Weapon Combat Effectiveness）評估是現代和未來戰爭中整體軍事效能的重要因素。Hammes et al.（2004）提出因為戰爭的模式已從線性戰爭轉變為非線性戰爭，主要由於美軍特種部隊的游擊戰略及系統性的應用武器作戰效能，³例如：烏克蘭、阿富汗及伊拉克等戰役。從作戰觀點，武器作戰效能是指使用單一武器或武器組合，能有效達成任務的武器多寡。也可做為國家軍事發展或戰略戰術之重要決策因素，如：武器目標分配、軍事裝備開發及採購等。然而武器作戰效能評估是一件風險高限制多又耗費成本的事情，從成本面考量，為了評估單一武器針對不同性質之目標所投放的武器所耗費的成本及測試不同方位的武器投放模式以測試目標的 Carleton 損傷函數（Carleton Damage Function），即是目標的脆弱性評估，也是武器與目標兩者間的破壞效能評估，為了得到效能評估所耗費的各項成本費用難以估計。另外執行實彈射擊必須承擔誤擊的風險，還會影響人民生計或遭遇鄰國的外交挑戰。

因此，相較於實彈射擊，國防模式模擬（Defense Modeling and Simulation, DM&S）能有效地降低風險及成本消耗。美國研究人員將模式模擬區分為 Live、Virtual、Constructive 三類（表 1）。

Live Simulation 空軍用於空中訓練和分析的空戰的 ACMI 就是一個例子。ACMI 計算並提供真實的飛機信息，包括時間、速度、位置、加速度、方向和武裝狀態等。位於空軍第 17 作戰隊的戰術訓練中心，其中紅、藍軍之間對抗的結果是透過電腦、感測器、GPS 和機載系統等執行模式模擬效能評估而無需使用實彈。

Virtual Simulation 則是 CM11/M60A3 組合型戰車訓練模擬器、CM21/M113 甲車駕駛訓練模擬器、戰術區域通信系統實體模擬器等，模擬器能反應駕駛員的知覺及認知建立過程；而國防部模式模擬中心的電腦兵棋，著重於軍事戰略、戰術或行動則是屬於 Constructive Simulation。

³ Hammes, T.X., The Sling and the Stone: On War in the 21st Century (St. Paul, MN:Zenith Press, 2004).

表 1 Live、Virtual、Constructive 模擬類型

類型	Live			Virtual			Constructive		
	操作者	系統	操作方式	操作者	系統	操作方式	操作者	系統	操作方式
實際	○	○		○					
模擬			○		○	○	○	○	○
裝備	ACMI POD			CM11/M60A3 模擬器			電腦兵棋		
									

資料來源：作者整理

儘管研究人員運用國防模式模擬（Defense Modeling and Simulation）執行武器作戰效能評估，但仍無法模擬最真實的武器效能，模擬終究是模擬，而評估結果的偏差也是必然。近年來隨著大數據科學的蓬勃發展，美軍也將數據科學導入國防模式模擬技術上面，透過深度學習、類神經網路演算法的各項研究發展，大數據科學能有效地提升模式模擬的精確度。此外，Moorthy et al.（2015）美國國防部每年投入 2.5 億美元於大數據科學及研究分析，並運用該技術制定各種國防策略。⁴

Jung W. et al.（2019）國防模式模擬是最受歡迎的方法之一，事實上，約有 50% 的研究文獻是將國防模式模擬技術用在武器作戰效能的評估中（圖 1）⁵，但將大數據科學應用在武器作戰效能及模式模擬的研究為零。而研究人員在提升武器作戰效能評估上區分為三大構面，以提高可靠性，效率和經濟性（圖 2）。

提升可靠性方面：Jin et al.（2014）分析人為因素與操作能力間的關係，這是結合人、機以提高作戰效能的重要因素，並研究工作績效的提升⁶；Zheng（2011）將貝葉斯網絡應用於雷達電子戰的作戰效能評估。通過應用貝葉斯網絡概念，可以在分析模型中表達複雜的關係和概率的不確定性。⁷Seo et al.

⁴ Moorthy, J., Lahiri, R., Biswas, N., Sanyal, D. et al., "Big Data: Prospects and Challenges, " *Vikalpa*, 2015, Vol.40, No.1, pp.74-96.

⁵ Jung W., Mario Marin, Kyungeun Lee, Luis Rabelo, Gene Lee & Daeho Noh, "Weapon Combat Effectiveness Analytics Using Big Data and Simulations: A Literature Review," *SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility*, 2019, Vol.1, No.2, pp.357-374.

⁶ Jin, C., Pang, Z., Li, H., Yuan, Z., and Wu, J., "Study on Improving Operating Performance of Human Factors," *Proceedings of the 13th International Conference on ManMachine-Environment System Engineering*, Springer, 2014, pp.527-534.

⁷ Zheng, Y., "Research on Combat Effectiveness Evaluation of Radar EW System Based on Bayesian

(2011) 使用離散事件系統規範 (DEVS)，通過改變戰術和武器性能，分析了船艦反魚雷防禦系統的有效性。⁸

在提升效率方面，研究人員分別從不同面向，提出高效率的武器作戰效能及評估：1.降低複雜度 2.全面化整合評估 3.優化武器分配 4.高效率武器操作 5.確認武器特性與效能之間的關係 6.武器效能標準化 7.系統整合 8.開發或改進武器系統。相關文獻有：Chusilp et al. (2014) 將複雜的 P_k 矩陣與 Carleton 損傷函數做比較，結果為使用簡單的 Carleton 損傷函數更有效率地評估武器作戰效能⁹，而 Carleton 損傷函數就是武器與目標間的相互關係，也就是武器－目標脆弱性分析；Boppe et al. (1994) 運用 ADC (Availability, Dependability, and Capability) 來評估飛彈作戰效能¹⁰，也就是指武器的容錯率、可靠性及能力；Li et al. (2015) 提出了一種使用雙軸光學檢測平台 (BODP) 查找車輛位置和方向的新方法¹¹；Osder (1991) 通過集成火力和飛行控制系統來提高攻擊直升機的作戰效能，這可以提高射擊的可能性，武器的準確性和生存能力¹²。

由於科技的持續進步，各國在採購武器時，必須評估武器整體效能，如殺傷力、精準度、成本等，而成本限制往往是決策的關鍵因素。因此，許多研究基於武器作戰效能的成本效益，藉此協助決策者做出最佳選擇。列如：Ludvik et al. (1996) 分析了火箭武器系統的成本效益¹³；Yin et al. (2015) 「武器生命週期成本評估模型」運用網路分析程序法 (ANP) 評估武器效能，以獲得最佳武器系統¹⁴；Ru et al. (2012) 根據武器的成本和有效性提出了武器目標分配評估的標準¹⁵。下個部分將探討武器－目標分配，並分享研究人員在武器－目標分配的各種成果，因為戰時的資源受到限制，但只要運用得宜，將可造成敵人嚴重損失，而武器－目標分配則是基於武器作戰效能評估而得之結果。

Network," *Advanced Materials Research*, 2011, Vol.204, No.1, pp.1697.

⁸ Seo, K., Song, H., Kwon, S., and Kim, T., "Measurement of Effectiveness for an Anti-Torpedo Combat System Using a Discrete Event Systems Specification-Based Underwater Warfare Simulator," *Journal of Defense Modeling Simulation*, 2011, Vol.8, No.3, pp.157-171.

⁹ Chusilp, P., Charubhun, W., and Koanantachai, P., "Monte Carlo Simulations of Weapon Effectiveness Using PK Matrix and Carleton Damage Function," *International Journal of Applied Physics and Mathematics*, 2014, Vol. 4, No.4, pp.280-285.

¹⁰ Boppe, C.W. and Martorella, R.P., "Thrust Vectoring/ Reversing Tactics in Air-to-Air Combat," *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 1994, Vol.116, No.1, pp.124-132.

¹¹ Li, K., Wang, L., Lv, Y., Gao, P., and Song, T., "Research on the Rapid and Accurate Positioning and Orientation Approach for Land Missile-Launching Vehicle," *Sensors (Basel, Switzerland)*, 2015, Vol.15, No.10, pp.26606-26620.

¹² Osder, S., "Integrated Flight/Fire Control for Attack Helicopters," in *IEEE/AIAA 10th Digital Avionics Systems Conference*, 1991, pp.287.

¹³ Ludvik, F. and Konecny, P., "Influence of the Air Defence Rocket Ballistics on the Rocket Weapon System Costs," *Sbornik*, 1996, Vol.1, pp.71-84.

¹⁴ Yin, T. and Xie, W., "Static Analysis of Acquisition Performance of Weapon and Equipments Based on Cost and Effectiveness," *Journal of Equipment Academy*, 2015, Vol.26, No.5, pp.36-40.

¹⁵ Ru, W. and Gao, X., "Weapon Target Allocation Based on Cost-Effectiveness," *Fire Control and Command Control*, 2012, Vol.37, No.2, pp.57-60.

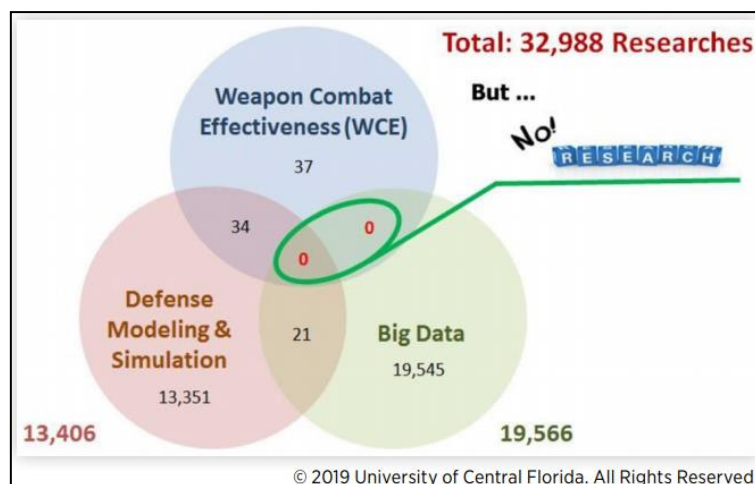


圖 1 WCE、DM&S、大數據等交集研究（統計時間 2016.9.21）

資料來源⁵：Jung W., et al., "Weapon Combat Effectiveness Analytics Using Big Data and Simulations: A Literature Review," *SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility*, 2019, Vol.1, No.2, pp.358.

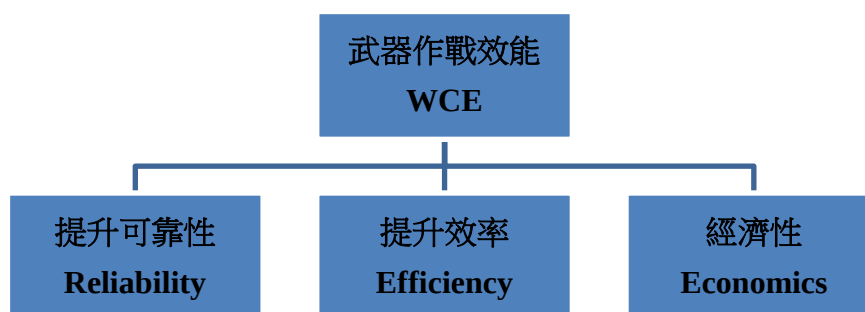


圖 2 武器作戰效能三大研究構面

資料來源：作者整理

武器-目標分配

武器-目標分配（Weapon-Target Assignment）的研究可以追溯到 1950 和 1960 年代，當時 Manne（1958）¹⁶和 Day（1966）¹⁷建立了武器-目標分配的模型，Hosein et al.（1990）¹⁸將武器-目標分配依數量分為兩類：單目標和多目標的武器目標分配。而武器-目標分配是一複雜非線性規劃問題，旨在對攻擊目標選擇高效能的武器予以攻擊。一般情況下，指揮官不會選擇使用機槍來攻擊鋼筋混凝土橋樑，亦不會為了摧毀一輛坦克而選用核子武器。而關鍵地面目標和地面目標攻擊武器類型複雜多樣。因此，Chao Wang et al.（2019）指出武器-目標分配長期以來一直是巨大的挑戰，且尚未得到充分解決。¹⁹即時且正

¹⁶A. S. Manne, "A target-assignment problem," *Operations Research*, 1958, Vol.6, pp.346-351.

¹⁷R. H. Day, "Allocating weapons to target complexes by means of nonlinear programming," *Operations Research*, 1966, Vol.14, No.6, pp.992-1013.

¹⁸P. A. Hosein and M. Athans, "Preferential Defense Strategies. Part I: The Static Case," MIT Laboratory for Information and Decision Systems, 1990, pp.1-25.

¹⁹Chao Wang, Guangyuan Fu, Daqiao Zhang, Hongqiao Wang & Jiufen Zhao, "Genetic Algorithm-Based Variable Value Control Method for Solving the Ground Target Attacking Weapon-Target Allocation

確的武器－目標分配不僅有助於掌握戰場局勢，而且還能優化武器資源的利用，以最低的成本獲得最大的戰場效益。M. Azad et al. (2009) 提出武器－目標分配不只是作戰指揮中的關鍵因素，還直接影響作戰過程和結果，因此，武器－目標分配成為重要軍事議題，引起了全球決策者的關注。²⁰A. Tokgözü et al. (2013) 指出防空攔截的武器－目標分配的研究取得許多成就，而地面目標攻擊的武器－目標分配問題卻很少被探討。²¹而國內對於武器－目標分配的研究也出現類似的情況，賴智明、吳從華 (民 107) 運用具有問題導向的初始機制與簡群演算法求解動態武器－目標分配問題，提供國土防衛作戰時多層攔截火網火力分配的最佳化，同時也提供動態武器目標分配更多元的求解方法。²²方心成 (民 109) 在空戰時，各架戰鬥機上擁有多種攻擊性與防禦性武器以影響射出的飛彈的致死率，而戰鬥機在高速環境下位置也快速地改變，因此，解決這類問題的演算法必須即時地求出最佳的武器資源分配方法。研究中提出兩種不同的任務，分別是「攻擊」與「閃躲」，其中前者的目標是最大化敵方損傷，後者則是考慮敵方可能的攻擊行為預先攻擊以最小化敵方對我方的損害，所用的方法為粒子群最佳化 (Particle Swarm Optimization) 演算法，²³上述兩篇為國內近三年武器－目標分配相關研究文獻，均以空中目標為主要研究對象。

相較於防空攔截，地面目標種類繁多，適用於多種武器類型，因此武器－目標分配問題的規模和複雜性更大，需要使用更有效的演算法。對關鍵敵人地面目標有效制壓，有助於主導戰場形勢，美軍在近期的戰役中，重創敵方作戰部隊，通過攻擊和摧毀了許多重要的敵方地面目標而迅速地獲勝。作戰的決勝時機有限，武器資源有限，若無法迅速、適當地分配武器資源，不僅造成浪費，且錯過決勝的機會。地面目標攻擊 (Ground Target Attacking-WTA) 與防空武器目標分配 (Air Defense-WTA) 完全不同。Z. J. Lee et al. (2003) 防空武器目標分配，武器對目標的破壞屬於 0-1 破壞 (Miss or Kill)；不必考慮每種武器對目標的累積傷害效果，並且優化原則是武器資源的損失越少或剩餘的敵方目標數量越少為佳。²⁴但是在地面目標攻擊武器分配的問題中，由於地面目標的複

Problem," *Hindawi Mathematical Problems in Engineering*, 2019, Vol.19, Article ID 6761073, pp.1-9.

²⁰M. Azad and A. Mircea, "Efficient heuristic approach to the weapon-target assignment problem," *AIAA Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, 2009, Vol.6, No.6, pp.405-414.

²¹A. Tokgözü and S. Bulkan, "Weapon target assignment with combinatorial optimization techniques," *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, 2013, Vol.2, No.7, pp.39-50.

²²賴智明、吳從華，「運用具有問題導向的初始機制與簡群演算法求解動態武器－目標分配問題」。管理學術研討會，第十六屆(民國 107 年 11 月)，頁 57-62。

²³方心成，「空戰中的實時多機武器目標分配任務」。臺灣大學資訊管理學研究所學位論文(民國 109 年 1 月)，頁 1-52。

²⁴Z. J. Lee, S. F. Su, and Y. L. Chou, "Efficiently solving general weapon-target assignment problem by genetic algorithms with greedy eugenics," *IEEE Journal on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics*, 2003, Vol.33, No.1, pp.119-120.

雜性，通常會使用大量武器來攻擊單個地面目標，並且當武器擊中目標時，需要考慮累積的傷害效應，其中優化原則是要針對目標用最少量的武器消耗來達到預期傷要求（暫時癱瘓、破壞或摧毀）。首先要將可用武器與攻擊目標進行評估，即分析武器的損傷程度和武器導引是否適用，攻擊範圍是否涵蓋目標，目標周圍的環境是否符合武器的攻擊條件，然後選擇適合打擊目標的武器。第二階段是武器分配的優化，即綜合考量武器總數量，然後以最佳成本效益比，針對目標分配適當的武器，以實現對所有目標的傷害期望。地面目標也可區分為動態及靜態，許多演算法的研究，皆為優化武器-目標分配，例如：Bogdanowicz et al. (2013) 的基因演算法²⁵、Chen et al. (2012) 的螞蟻演算法²⁶、Fei et al. (2012) 的拍賣演算法²⁷、Lee (2010) 的搜索算法²⁸等。隨著軍事空戰的發展，武器-目標分配問題備受重視，R. N. Rai et al. (2014) 空軍在任何戰爭的結果中都起著決定性的作用²⁹。而戰機對地目標可能來自於陸上、水面及水下。

因此，武器-目標分配的問題並不侷限於國防部層級的策略，而國軍武器及載具的類型相較美軍單純需多。當攻標目標確定後，火力支援協調組會先行評估目標並考量陸、海、空三軍及飛彈部隊之武器特性，適當地規劃目標分配（如圖 3）。若以戰機攻擊為考量，主要是看中戰機的機動性及遠程打擊能力，較不受限於時間及空間因素。空軍聯合作戰中心（JAOC）接獲目標分配後，仍須執行武器-目標分配，主要考量機種、批次、彈藥種類及數量。例如：若要使用魚叉飛彈攻擊船艦，可派遣 F-16 或 P-3；使用小牛飛彈攻擊戰甲車，則必須派遣 F-16。基層部隊會用到武器-目標分配嗎？答案是肯定！執行空攻的戰機機動性、遠程打擊能力是優勢，但戰機本身也有諸多限制因素，例如：油量、掛載、操作特性、飛行員素養等。而當戰機升空後，掛載就無法變更，武器及油量也只會向下遞減，任務領隊就如同經理人，管理小組內人員、裝備及程序並有效地達成目標。以 F-16 為例，對空任務執行戰術時，一般情況領隊會將簡單、明確、威脅較小的目標交給僚機負責（敵機交給僚機、不明機交給領隊），或者優先

²⁵Z. R. Bogdanowicz, A. Tolano, K. Patel, and N. P. Coleman, "Optimization of weapon-target pairings based on kill probabilities," *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2013, Vol.43, No.6, pp.1835-1844.

²⁶S. Chen, J. He, and H. Liu, "Realization and simulation of parallel ant colony algorithm to solve WT A problem," in *Proceedings of the International Conference on Systems and Informatics (ICSAI '12)*, May 2012.

²⁷A.G. Fei, L.Y. Zhang, and Q.J. Ding, "Multi-aircraft cooperative fire assignment based on auction algorithm," *Systems Engineering & Electronics*, 2012, Vol.34, No.9, pp.1829-1833.

²⁸M.Z. Lee, "Constrained weapon-target assignment: enhanced very large scale neighborhood search algorithm," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, 2010, Vol.40, No.1, pp. 198-204.

²⁹R. N. Rai and N. Bolia, "Optimal decision support for air power potential," *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2014, Vol.61, No.2, pp. 310-322.

使用僚機武器執行攻擊；在對地任務時，會針對編隊機組員劃分預期平均彈著（Desired Mean Point of Impact, DMPI），就是與攻擊目標相關的精確彈著點，且被分配為多種武器或彈藥的破壞影響範圍中心，以實現預期的摧毀目標和達到摧毀程度。上述這些都是飛行員執行武器－目標分配的基本素養。所以說任何層級的決策者都應重視武器－目標分，而決策的時間點、多變的戰場環境以及未知的敵人素質等皆是複雜且不完整的資訊，這些因素提高了決策的難度，因此，研究人員致力於開發各種演算法，以提供各層級管理者做出有效的決策。

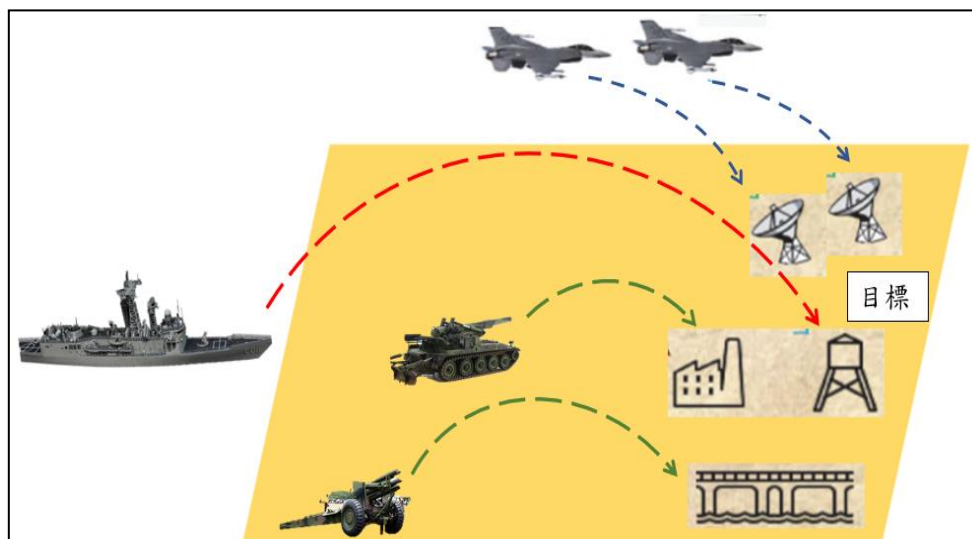


圖 3 地面目標攻擊分配（Ground Target Attacking-WTA）示意圖

資料來源：作者整理

武器掛載及戰機數量演算法（Method）應用

本研究以 F-16 Block 20 為例，戰機掛載點僅 1 至 9 佔位，一般 1. 2. 8. 9. 為對空武器掛載點，3. 7. 為對地武器掛載點，4. 6. 為翼下副油箱，5. 佔位可選掛中線油箱或特殊夾艙（電戰、偵照），掛載時必須對稱以符合戰機重心限制。另外考量武器掛載限制、目標區 IN HOT 次數、接戰比、飛機操作及部隊特性等因素，並排除了飛行員技術、敵人素質完成演算法建立。此演算法考量對地目標 Hit 值、對空目標 P_k 值、目標數量及目標所需傷害值等 4 項變數，試求極少化武器數量及編隊戰機數量。由於部分軍事資料無法取得，因此目標所需傷害值 Hit 及 P_k 值均為虛構。簡單而言，只需要知道目標所需傷害值及數量，就可以提供火協空攻申請戰機數量、掛載彈藥種類及數量。而本研究目的的初衷，是想藉此機會來傳達武器－目標分配（Weapon Target Assignment）及武器作戰效能（Weapon Combat Effectiveness）評估的重要性。而這兩項研究都跟作戰效能（Combat Effectiveness）有著密不可分的關係。

一、空對空武器建模考量

用於攔截空中目標的武器類型和數量非常有限，且攔截戰機的傷害值通常

以 P_k 值來計算，武器對目標的傷害屬於 0 至 1 的破壞，不必考慮每種武器對目標的累積傷害效果，因此假設每架敵機的 P_k 值為 1，而 F-16 對空武器以 AIM-9、AIM-120 為主要設定，AIM-9 屬於視距內紅外線導引飛彈，AIM-120 屬於視距外主動雷達導引飛彈，兩種彈藥對戰機的損傷均一樣，真正的差別是射程遠近及導引方式，AIM-9 無法攻擊視距外的戰機，但 AIM-120 卻可以用以近戰。故將兩種武器分別給予不同虛擬 P_k 值，AIM-9 為 0.5、AIM-120 為 0.75，對 1. 2. 8. 9. 佔位掛載組合，總計組合計有：Y₁、Y₂、Y₃、Y₄、Y₅、Y₆、Y₇、Y₈、Y₉ 等 9 種（表 2）。

表 2 單機對空武器掛載組合表

掛載組合	武器掛載	數量（枚）	武器總數量（枚）	總虛擬 Pk 值	其他考量
Y ₁	AIM-9	2	2	1.0	Pk 值相同，則以彈藥數量較少的為主，符合作業研究。
Y ₂	AIM-9	1		1.25	
	AIM-120	1			
Y ₃	AIM-120	2		1.5	
不參考	AIM-9	3	3	1.5	
Y ₄	AIM-9	2		1.75	
	AIM-120	1			
Y ₅	AIM-9	1		2	
	AIM-120	2			
Y ₆	AIM-120	3		2.25	
不參考	AIM-9	4	4	2	
不參考	AIM-9	3		2.25	
	AIM-120	1			
Y ₇	AIM-9	2		2.5	
	AIM-120	2			
Y ₈	AIM-9	1		2.75	
	AIM-120	3			
Y ₉	AIM-120	4		3	

資料來源：作者整理

二、空對地武器建模考量

F-16 對地掛載有 MK-82、MK-84、MK-20、小牛飛彈、魚叉飛彈及 3.75 吋火箭等，本研究嘗試性建立演算法，因此僅採用 MK-82 及 MK-84。其他武器在攻擊特殊目標時，能有較佳的武器效能。例如：小牛飛彈擅常攻擊戰甲車，

魚叉飛彈利於攻擊船艦，而 MK-20 則是針對跑道做大面積的破壞。此外，若將通用炸彈加裝雷射導引裝置，也可提高武器之精準度。上述情形在建立演算法時僅需要將彈藥常規火力在攻擊特定目標時，將該武器傷害值給予加權係數 μ ($\mu \in R^+$)，而 μ 值會因不同武器對應不同類型目標而調整。當 $\mu > 1$ 時：表示武器目標分配正確而給予獎勵函數，效能提升；當 $1 > \mu > 0$ 時：表示武器目標分配不當而給予懲罰函數，效能下降。而 μ 的數值必須透過有效的武器效能評估而定，同樣的武器對應不同目標時，效能是不一樣的，故本研究均不列入演算法建模考量。

對地武器掛載以 MK-82 / 500 磅（虛擬傷害為 500 Hit）及 MK-84 / 2000 磅（虛擬傷害為 2000 Hit）通用炸彈為主。若 3. 7. 佔位加裝配接器（TER）時，可同時掛載三枚 MK-82。若考量增加戰機滯空時間及航程，可分別在 4. 6. 佔位掛載翼下副油箱或在 5. 佔位掛載中線副油箱。若 4. 5. 6. 均掛載副油箱時，則無法執行對地任務。

在執行對地攻擊任務時，武器掛載必須對稱，以 4. 6. 佔位掛載副油箱，5. 佔位掛載特殊夾艙為主要設定。既能提高戰機滯空時間及航程，又能將戰機效能最大化。針對 3. 7. 佔位掛載組合計有： X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 等 4 種（表 3）。

表 3 單機對地武器掛載組合表

掛載組合	武器掛載	數量（枚）	攻擊目標數量	總虛擬 Hit 值	其他考量
X_1	MK-82	2	1-2	1000	4.6. 佔位掛載副油箱、 5. 佔位掛載夾艙。
X_2	MK-82 + 配接器	4	1-4	2000	
X_3	MK-82 + 配接器	6	1-6	3000	
X_4	MK-84	2	1-2	4000	

資料來源：作者整理

三、建立演算法

綜合上述對空、對地武器掛載組合及其他考量，建立武器掛載數量最小化之目標式，並分別針對空、地攻擊目標數量及傷害輸出建立限制式，且掛載組合類型僅能擇一掛載，線性規劃模型如下：

數學式中各符號說明：

X_c ：對地武器掛載組合類型，亦是武器種類及數量， $c = 1, 2, 3, 4$

Y_c ：對空武器掛載組合類型，亦是武器種類及數量， $c = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$

T ：地面目標總數量， $T = 0, 1, 2, 3, \dots$

H_t ：地面目標總 Hit 值， $t = 0, 1, 2, 3, \dots$ ， $H_0 = 0$

V ：空中目標總數量，亦是空中目標總 P_k 值， $V = 0, 1, 2, 3, \dots$

假設對地武器掛載模式種類為 X_c ；對空武器掛載模式種類為 Y_c 。依任務需求，期望以最少武器數量達成任務，目標公式如 (3)：

$$\text{Min } Z = \sum_{c=1}^4 X_c + \sum_{c=1}^5 Y_c \quad (3)$$

公式 (4) 至 (8) 為目標公式之限制條件，敘述如後：

假設單一枚彈藥僅能攻擊單一目標，無論彈藥威力如何，因為目標物座標可能是分散佈署；單一目標可被多枚彈藥攻擊，若單一彈藥傷害程度不足時： T 為地面目標的總數量。對地武器掛載組合 X_1 至 X_4 彈藥數量總和至少滿足 T 值，公式如 (4)：

$$\text{s.t.} \quad \sum_{c=1}^3 2c \cdot \sum_{c=1}^3 X_c + 2X_4 \geq T, \{0, 1, 2, 3, \dots, T\} \quad (4)$$

不同結構之地面目標，所需之彈藥傷害均不同。假設 H_t 為對地目標所需之總傷害值，對地武器掛載組合 X_1 至 X_4 彈藥傷害值總和至少滿足 H_t 值，公式如 (5)：

$$\sum_{c=1}^4 1000c \cdot \sum_{c=1}^4 X_c \geq \sum_{t=0}^T H_t, H_0 = 0 \quad (5)$$

對空武器的特性不同於對地武器，因為敵機是動態目標，且具有自主防禦動作，故對空武器以 p_k 值計算為佳。假設 V 為敵空中目標的總數量，對空武器掛載組合 Y_1 至 Y_9 彈藥數量總和至少滿足 V 值，公式如 (6)：

$$\sum_{c=1}^9 (c+3) \cdot \frac{1}{4} \cdot Y_c \geq V, \{0, 1, 2, 3, \dots, V\} \quad (6)$$

對地掛載 4 種組合 (X_1 至 X_4) 可選擇裝掛，公式如 (7)：

$$\sum_{c=1}^4 X_c \geq 0 \quad (7)$$

對空掛載 9 種組合 (Y_1 至 Y_9) 可選擇裝掛，公式如 (8)：

$$\sum_{c=1}^9 Y_c \geq 0 \quad (8)$$

非負值限制條件公式如 (9)：

$$X_c, Y_c, H_t, T, V \geq 0 \quad (9)$$

四、運用 Lingo 軟體求解（程式碼）

Model :

（目標式）

Min = Z ;

$Z = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5$; （空、地武器數量最小化）

（限制式）

$2 * X_1 + 4 * X_2 + 6 * X_3 + 2 * X_4 \geq T$; （地面目標數量）

$1000 * X_1 + 2000 * X_2 + 3000 * X_3 + 4000 * X_4 \geq H_t$; （總輸出 Hit 值）

$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \geq 0$; （對地掛載組合 4 擇一）

$1 * Y_1 + 1.25 * Y_2 + 1.5 * Y_3 + 1.75 * Y_4 + 2 * Y_5 + 2.25 * Y_6 + 2.5 * Y_7 + 2.75 * Y_8 + 3 * Y_9 \geq V$; （空中目標數量）

$Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8 + Y_9 \geq 0$; （對空掛載組合 9 擇一）

（整數規劃指令：彈藥選擇沒有小數只有整數，故須輸入以下指令）

@ gin (X_1) ; @ gin (X_2) ; @ gin (X_3) ; @ gin (X_4) ;

@ gin (Y_1) ; @ gin (Y_2) ; @ gin (Y_3) ;

@ gin (Y_4) ; @ gin (Y_5) ; @ gin (Y_6) ;

@ gin (Y_7) ; @ gin (Y_8) ; @ gin (Y_9) ;

End

五、求解應用

（一）要旨命令：阻止敵軍於恆楓外海集結完成，水面目標旗艦 1 艘（5800 Hit /每艘）、登陸艦 3 艘（1000 Hit /每艘），空中目標 Mig-29/8 架（ P_k : 8）戰機隨伴掩護，空攻申請 F16 戰機武器掛載選擇及戰機數量需求。Lingo 求解： X_4 、 $Y_9 = 3$ （圖 4），建議派遣 1 批 3 架次，各機掛載翼下副油箱、電戰夾艙、MK-84 x 2 及 AIM-120 x 4。

```
Global optimal solution found.
Objective value:                6.000000
Objective bound:                6.000000
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:         0
Total solver iterations:       1
```

Variable	Value	Reduced Cost
Z	6.000000	0.000000
X1	0.000000	1.000000
X2	0.000000	1.000000
X3	0.000000	1.000000
X4	3.000000	1.000000
Y1	0.000000	1.000000
Y2	0.000000	1.000000
Y3	0.000000	1.000000
Y4	0.000000	1.000000
Y5	0.000000	1.000000
Y6	0.000000	1.000000
Y7	0.000000	1.000000
Y8	0.000000	1.000000
Y9	3.000000	1.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	6.000000	-1.000000
2	0.000000	-1.000000
3	2.000000	0.000000
4	3200.000	0.000000
5	3.000000	0.000000
6	1.000000	0.000000
7	3.000000	0.000000

圖 4 Lingo 求解

資料來源：作者整理

(二) 要旨命令：突襲敵軍臨時指揮中心，地面指揮所 1 處 (2500 Hit)、砲兵陣地、戰甲車群、彈藥庫等 8 處 (500 Hit /每處)，空中目標 Mig-29/16 架 (P_k : 16) 戰機升空警戒，空攻申請 F16 戰機武器掛載選擇及戰機數量需求。Lingo 求解： $X_2 = 1$, $X_3 = 2$, $Y_9 = 6$ (圖 5)，建議派遣對地小隊 1 批 3 架次，各機掛載翼下副油箱、戰夾艙、AIM-120 x 4，#1、#2 掛載 MK-82 x 6，#3 掛載 MK-82 x 4；掃蕩掩護小隊 1 批 3 架次，各機掛載 AIM-120 x 4、翼下副油箱、電戰夾艙，優化戰機滯空時間及航程，提升掩護任務戰鬥效能。

```
Global optimal solution found.
Objective value:                9.000000
Objective bound:                9.000000
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:         0
Total solver iterations:       1
```

Variable	Value	Reduced Cost
Z	9.000000	0.000000
X1	0.000000	1.000000
X2	1.000000	1.000000
X3	2.000000	1.000000
X4	0.000000	1.000000
Y1	0.000000	1.000000
Y2	0.000000	1.000000
Y3	0.000000	1.000000
Y4	0.000000	1.000000
Y5	0.000000	1.000000
Y6	0.000000	1.000000
Y7	0.000000	1.000000
Y8	0.000000	1.000000
Y9	6.000000	1.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	9.000000	-1.000000
2	0.000000	-1.000000
3	7.000000	0.000000
4	1500.000	0.000000
5	3.000000	0.000000
6	2.000000	0.000000
7	6.000000	0.000000

圖 5 Lingo 求解

資料來源：作者整理

研究發現與作戰意涵

演算法模型的規模，因應用途需求而有所不同。本研究武器掛載模型屬於單一目標多元線性規劃的小模型，研究結果發現本模型適用於單機戰鬥或多機戰術的空攻任務指派，只要明確掌握目標區敵機數量及空攻目標物的類型（混泥土掩體、鐵皮工廠、野戰指揮所等）及數量等情資，方可藉由演算法算出空攻戰機派遣數量及攜掛武器種類數量，打破傳統派遣法（一批兩架次，每架 6 枚 MK82），使任務規劃更加精準靈活。但此模型在使用上仍有些限制，例如：真實戰場環境多為不完全訊息，若無法掌握上述情報，就無法使用本研究之模型執行武器掛載選擇及戰機數量派遣。

隨著模型用途需求的擴大，建模過程越複雜，例如：某武器對某目標物的破壞效能呈指數成長，會使原本較為簡單的線性規劃（一次方）轉變成非線性規劃（平方或以上）；若同時以武器效能及經濟成本為彈藥選擇考量，即是魚與熊掌兼得的多目標規劃（在昂貴精準炸彈與平價通用炸藥之間選擇）。因此，發展一套符合現實且滿足指揮官企圖之演算法，必須仰賴專業的研究團隊，例如：數理規劃、武器效能評估、軍備編裝、經濟成本、人力資源等。建模過程越謹慎，越能反映真實情況，而模型的可行性及可靠性也越高。然而，軍事作業研究不僅有助於武器掛載選擇及戰機派遣，亦可對整體作戰效能評估及建軍備戰規劃有顯著影響。

結語

此外，作者根據任務成功及戰力保存建立矩陣，提供指揮官思考評估（表 4），象限 I：為目標摧毀且人員、裝備均完好保存，這是作戰效能最佳情況；象限 II：以達成任務為優先考量，由於關鍵目標會影響整體戰況發展，對我方極為不利，因此，不惜犧牲一切代價優先摧毀目標，也是我們熟知的誓死達成任務；象限 III：為目標不但無法摧毀且我方人員、裝備皆損，任務失敗且戰力耗損，為最差之決策結果；象限 IV：以戰力保存優先，目標摧毀其次。該矩陣能幫助指揮官決策思考，原則要往象限 I 移動並保持。若處於象限 III 時，指揮官最佳決策應為「避戰」。若避不了，也應設法往象限 II 或象限 IV 移動。

表 4 目標-戰力效能評估矩陣

	人員傷亡、裝備損壞	人員安全、裝備妥善
目標 摧毀	II 優先評估摧毀目標	I 最佳作戰效能
目標 完好	III 最差作戰效能	IV 優先評估戰力保存

資料來源：作者整理

本研究是基於作業研究學門對於作戰效能、武器效能、武器目標分配做回顧型綜合探討，並嘗試選擇四種變數發展較簡單的武器掛載及戰機序列指派的演算法，藉此傳達作業研究為一實用科學，可用來解決大部分的問題。空中作戰長期以來都和飛行員、戰機、彈藥這三個因素息息相關，同樣的聯合作戰期間指揮官必須針對攻擊目標之特性選擇適當之武器彈藥，並以最有效的武器最少量的彈藥數達到目標損傷的要求，而作業研究亦可將我軍人員行為能力表現用數學公式表示，如此一來就能優化演算法，明確知道該派何人執行任務更能提高作戰效能。

參考文獻

中文部分

- 一、賴智明、吳從華，「運用具有問題導向的初始機制與簡群演算法求解動態武器－目標分配問題」。管理學術研討會，第十六屆（民國 107 年 11 月），頁 57–62。
- 二、方心成，「空戰中的實時多機武器目標分配任務」。臺灣大學資訊管理學研究所學位論文（民國 109 年 1 月），頁 1–52。

英文部分

- 一、Hodgson, J., "A Generalized Analysis of War Gaming (CORG Memorandum)," *CORG Memorandum, Tech/Ops, Combat Operations Research Group*, 1957.
- 二、Philip Hayward, "The Measurement of Combat Effectiveness," *INFO RMS Operations Research*, 1965, Vol.16, No.2, pp.314–323.
- 三、Hammes, T.X., *The Sling and the Stone: On War in the 21st Century* (St. Paul, MN:Zenith Press, 2004) .
- 四、Moorthy, J., Lahiri, R., Biswas, N., Sanyal, D. et al., "Big Data: Prospects and Challenges," *Vikalpa*, 2015, Vol.40, No.1, pp.74–96.
- 五、Jung W., Mario Marin, Kyungeun Lee, Luis Rabelo, Gene Lee & Daeho Noh, "Weapon Combat Effectiveness Analytics Using Big Data and Simulations: A Literature Review," *SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility*, 2019, Vol.1, No.2, pp.357–374.
- 六、Jin, C., Pang, Z., Li, H., Yuan, Z., and Wu, J., "Study on Improving Operating Performance of Human Factors," *Proceedings of the 13th International Conference on ManMachine–Environment System Engineering*, Springer, 2014, pp.527–534.
- 七、Zheng, Y., "Research on Combat Effectiveness Evaluation of Radar EW System Based on Bayesian Network," *Advanced Materials Research*, 2011, Vol.204, No.1, pp.1697.
- 八、Seo, K., Song, H., Kwon, S., and Kim, T., "Measurement of Effectiveness for an Anti–Torpedo Combat System Using a Discrete Event S

- systems Specification–Based Underwater Warfare Simulator," *Journal of Defense Modeling Simulation*, 2011, Vol.8, No.3, pp.157–171.
- 九、Chusilp, P., Charubhun, W., and Koanantachai, P., "Monte Carlo Simulations of Weapon Effectiveness Using PK Matrix and Carleton Damage Function," *International Journal of Applied Physics and Mathematics*, 2014, Vol. 4, No.4, pp.280–285.
- 十、Boppe, C.W. and Martorella, R.P., "Thrust Vectoring/ Reversing Tactics in Air–to–Air Combat," *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 1994, Vol.116, No.1, pp.124–132.
- 十一、Li, K., Wang, L., Lv, Y., Gao, P., and Song, T. ",Research on the Rapid and Accurate Positioning and Orientation Approach for Land Missile–Launching Vehicle," *Sensors (Basel, Switzerland)*, 2015, Vol.15, No.10, pp.26606–26620.
- 十二、Osder, S., "Integrated Flight/Fire Control for Attack Helicopters," in *IEEE/AIAA 10th Digital Avionics Systems Conference*, 1991, pp.287.
- 十三、Ludvik, F. and Konecny, P., "Influence of the Air Defence Rocket Ballistics on the Rocket Weapon System Costs," *Sbornik*, 1996, Vol. 1, pp.71–84.
- 十四、Yin, T. and Xie, W., "Static Analysis of Acquisition Performance of Weapon and Equipments Based on Cost and Effectiveness," *Journal of Equipment Academy*, 2015, Vol.26, No.5, pp.36–40.
- 十五、Ru, W. and Gao, X., "Weapon Target Allocation Based on Cost–Effectiveness," *Fire Control and Command Control*, 2012, Vol.37, No.2, pp.57–60.
- 十六、A. S. Manne, "A target–assignment problem," *Operations Research*, 1958, Vol.6, pp.346–351.
- 十七、R. H. Day, "Allocating weapons to target complexes by means of nonlinear programming," *Operations Research*, 1966, Vol.14, No.6, pp.992–1013.
- 十八、P. A. Hosein and M. Athans, "Preferential Defense Strategies. Part I: The Static Case," MIT Laboratory for Information and Decision Systems, 1990, pp.1–25.
- 十九、Chao Wang, Guangyuan Fu, Daqiao Zhang, Hongqiao Wang & Jiu fen Zhao, "Genetic Algorithm–Based Variable Value Control Method for Solving the Ground Target Attacking Weapon–Target Allocation Problem," *Hindawi Mathematical Problems in Engineering*, 2019, Vol.19, Article ID 6761073 , pp.1–9.
- 二十、M. Azad and A. Mircea, "Efficient heuristic approach to the weapon–target assignment problem," *AIAA Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, 2009, Vol.6, No.6, pp.405–414.

- 廿一、A. Tokgözü and S. Bulkan, "Weapon target assignment with combinatorial optimization techniques," *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, 2013, Vol.2, No.7, pp.39–50.
- 廿二、Z. J. Lee, S. F. Su, and Y. L. Chou, "Efficiently solving general weapon–target assignment problem by genetic algorithms with greedy eugenics," *IEEE Journal on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics*, 2003, Vol.33, No.1, pp.119–120.
- 廿三、Z. R. Bogdanowicz, A. Tolano, K. Patel, and N. P. Coleman, "Optimization of weapon–target pairings based on kill probabilities," *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2013, Vol.43, No.6, pp.1835–1844.
- 廿四、S. Chen, J. He, and H. Liu, "Realization and simulation of parallel ant colony algorithm to solve WTA problem," in *Proceedings of the International Conference on Systems and Informatics (ICSAI '12)*, May 2012.
- 廿五、A.G. Fei, L.Y. Zhang, and Q.J. Ding, "Multi–aircraft cooperative fire assignment based on auction algorithm," *Systems Engineering & Electronics*, 2012, Vol.34, No.9, pp.1829–1833.
- 廿六、M.Z. Lee, "Constrained weapon–target assignment: enhanced very large scale neighborhood search algorithm," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, 2010, Vol.40, No.1, pp. 198–204.
- 廿七、R. N. Rai and N. Bolia, "Optimal decision support for air power potential," *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2014, Vol. 61, No.2, pp. 310–322.

作者簡介

萬忠孝備役上校，陸軍官校 69 年班，陸院 80 年班，曾任營長、科長、教官組長，現任職於陸軍砲兵訓練指揮部射擊教官組。

萬德威少校，空軍官校 95 年班，曾任飛行官、飛安官、三軍聯訓指揮部火協組裁判官、聯絡官等職務，現為國防大學運籌管理系碩士研究生。

從編裝務實探討聯合兵種營火協機制

作者：李志虎

提要

- 一、聯合兵種營為提升其指管、目獲及地空整體作戰能力，具備「早期監偵目標、集中火力打擊、快速機動應援、獨立遂行作戰」能力，確保作戰任務達成，其營部參謀編組除一般營級參謀編組外，將火力支援協調運作所需人力，納入聯合兵種營的建制編組，增編之火協參謀計有火力支援組長、目標分析官、空軍連絡官、艦砲連絡官、航管連絡官及防空官。
- 二、聯兵營營指揮所係以裝甲車為主體，作戰中心無線通信網之構成區分指揮官網、情報網、火協網、行政網等網路。營部參謀編制之機動載具為搭乘中型戰術輪車；營指揮所火力支援協調組開設若干無線電網路。
- 三、火協編組成員，必須考量營之作戰任務、支援兵力任務與特性、本階層可獲得支援之可能性，決定編組成員，避免陷入人多即是戰力之迷思。當部隊階層越低時，可獲得之支援武器與手段就相對有限，若火力支援組之成員涵蓋作情中心成員之半數或三分之二以上時，則必須考量其合併開設之可行性，避免因火力支援協調作業組之合署作業，而影響作情中心之運作。
- 四、海軍、空軍與航管連絡官除透過現有之專長訓練體系與演訓參與增加其實務經驗；並應思考平時如何讓渠等人員與海空軍聯隊、支隊建立交流、交織訓練管道，每年定期派駐友軍單位，參與平時教育訓練、演訓任務整備、任務執行與復原檢討，方能深切體認彼此任務、特性、能力與限制，甚至於戰術運用之思維。

關鍵詞：聯合兵種營、火力支援協調、兵種協同

前言

從編裝可以顯示出一個部隊對於未來戰爭的方向與想要從事的作戰型態，也可以了解此一部隊之能力與限制。陸軍於 109 年 7 月完成「聯合兵種營」編裝調整，其目的，為肆應未來地面防衛作戰型態，使其具備「平戰一致」、快速執行「應變制變」及「全方位打擊」任務的可恃戰力。¹

「聯合兵種營」組織調整，提升指管、目獲及地空整體作戰能力，具備「早期監偵目標、集中火力打擊、快速機動應援、獨立遂行作戰」能力，以確保作戰任務達成。²

¹蘇仲泓（風傳媒）〈招募不佳就整併？國軍整編聯合兵種營，連動 3000 人〉，<https://www.storm.mg/article/1139424>，下載時間：民國 108 年 4 月 4 日，

²陳軍均（青年日報）〈國軍首支「聯合兵種營」編成 陸軍 586 旅膺重任〉，<http://news.gpww.mnd.mil.tw/news>。

為強化其兵種協同與聯合作戰之能力，「聯兵營」其參謀編組不同於以往，除一般營級參謀編組外，增加火協作業成員編組，期望能具有獨立遂行作戰之能力。

陸軍從作戰區至營級以上戰鬥部隊均已建立火力支援協調相關作業機制，且執行多年，然「聯合兵種營」編成後，火協機制運作之程序、步驟應無顯著之不同，但「聯合兵種營」火協參謀編組與設備如何滿足需求？現階段仍有調整空間，僅提出個人見解，期望對建軍備戰略盡綿薄。

「聯兵營」作戰任務與火力支援協調作業編組概述

聯兵營兼具兵種協同、戰術指揮、聯合火力支援協調與行政能力；聯合兵種營依屬性，區分以戰車連為主體或以機械化步兵連為主體兩種型式。

一、「聯兵營」編組簡述

以戰車連為主之聯合兵種營，轄營部及戰鬥支援連、火力連、戰車連、機步連；以機械化步兵連為主之聯合兵種營，轄營部及戰鬥支援連、火力連、機步連、戰車連。營部參謀編組：營部為遂行作戰、訓練、管理與協調之指揮機構；營指揮組編組中校營長、裝甲及步兵副營長、輔導長及士官督導長等。

營參謀組編組參謀主任、人事官、情報官、情報官兼U A V分析官、作戰參謀官、訓練參謀官、火協組長、艦砲、空軍、航管連絡官、防空官、後勤官、兵工官、通信官及保防（政戰）官等，以強化營聯合作戰指管機制運作能力。

二、「聯兵營」作戰任務

「聯合兵種營」部隊編組以能發揮「兵種協同」及提升「獨立作戰能力」為發展目標，並在旅指揮管制下，有限度執行聯合作戰任務，使能快速應變制變及遂行全方位打擊之作戰任務，³殲滅敵有生力量，屈服敵之戰鬥意志，依狀況可擔任以下任務：

攻擊時任主力，奪取具決定性目標；防禦時任上級掩護部隊，遂行單一方面之獨立作戰，掩護其作戰整備，或任機動打擊（逆襲）部隊，摧破敵攻勢，創造作戰有利態勢。

臺澎防衛作戰經常戰備時期擔任戰備部隊，遂行反空（機）降、反突擊、反滲透、反破壞任務，全面作戰時期擔任機動打擊部隊，遂行反擊任務，殲敵於灘頭，使敵登陸失敗。⁴

aspx?ydn=w2u5S9CJZGAXB%2fzPg%2fq7ag0eWrbrHqzGDZkDr5zvOoma0vL0kGG4byg1J9FBb%2f3AmXrlwYgHL%2f4Fwub7TrmlygQPwUXJde2ilw2K6IUPN3Q%3d，下載時間：民國 109 年 9 月 8 日。

³ 《陸軍聯合兵種作戰教範（草案）》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 109 年 3 月），頁 1-1。

⁴ 同註 3。

三、「聯兵營」之火協支援能量與編組

「聯合兵種營」火協支援參謀編組，以能依營長決心、作戰企圖與火力運用指導，依指參作業程序之作業步驟，以求整合致命與非致命火力，達到協調、節約、有效及安全之作業。其目的有三，為肆應作戰任務之需求，藉由周密協調，使兵、火力運用密切配合；避免浪費火力，務求適時、適切、經濟有效；維護友軍安全，藉各種安全管制作為，綿密協調，避免誤擊。

為提升其指管、目獲及地空整體作戰能力，具備「早期監偵目標、集中火力打擊、快速機動應援、獨立遂行作戰」能力，確保作戰任務達成，其營部參謀編組除一般營級參謀編組外，將火力支援協調運作所需人力，納入聯合兵種營的建制編組。增編之火協參謀計有火力支援組長、目標分析官、空軍連絡官、艦砲連絡官、航管連絡官及防空官。營火力支援協調編組，如表 1。

表 1 聯合兵種營火力支援協調編組

聯合兵種營火力支援協調作業編組			
職稱		編制職稱	派遣單位
	火協官	火協組長	營參謀組
火力支援組	助理火協官	連絡官	砲兵營
	火力連代表	火力連長	火力連
	參二空業官	情報官	營參謀組
	目標分析官	情報官	營參謀組
	海軍連絡管制官	艦砲連絡官	營參謀組
	通信官	通信官	營參謀組
空中火力支援組	參三空業官	作戰參謀官	營參謀組
	空軍連絡管制官	空軍連絡官	營參謀組
	防空連絡管制官	防空官	營參謀組
	陸航連絡管制官	航管連絡官	營參謀組

資料來源：《陸軍聯合兵種作戰教範（草案）》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 109 年 3 月），頁 1-40。

防衛作戰戰場景況概述

共軍登陸作戰首要基本條件為保持海、空優勢，登陸作戰，乃將陸上作戰部隊經由海上、空中運送至登（著）陸地區，遂行陸域經海、空域之不連續空

間作戰；其戰力由零逐漸增長，以形成優勢。故敵作戰全程，須以優勢海、空兵力奪取絕對或局部制空、制海權，始能維護其海、空運輸安全，並有利其三棲正規或非正規登陸作戰。⁵另參照共軍登陸作戰相關準則，亦強調必須以優勢的空中力量，與海上力量、電磁力量，確保登陸師（團）強渡海區。

就共軍登島作戰之作戰進程，基本區分為先期作戰、裝載上陸、航渡、突擊上陸、建立登陸場等五大階段。

先期作戰階段通常包括奪取制空、制海、制電磁權，預先火力準備，預先排雷破障等行動。突擊上陸階段，通常包括繼續保持戰區的制海、制空、制電磁權，進行戰術展開，排雷艦艇進行直接排雷，航空兵與艦艇火力支援部隊遂行直接火力準備和火力支援，警戒艦艇組織水區警戒，換乘，編波，建立控制組織，艇、機波突擊上陸，奪占登陸點，建立登陸基地等行動。建立登陸場階段通常包括鞏固擴大登陸場，粉碎敵反衝擊、反擊、逆登陸等行動。⁶

聯合兵種營之作戰任務，於全面作戰時期主要擔任機動打擊部隊，遂行反擊任務，殲敵於灘頭。其戰術運用之節點，對照共軍登陸效程概於突擊上陸、建立登陸場階段，登陸敵軍，將持續掌握登陸海域、地域之海、空優勢；此時，當登陸敵軍登陸舟波向岸際發起衝鋒時，聯合兵種營下令行接敵運動，趁敵火力向後延伸之際，各連採乘車、小群多路方式，以排為單位由待機位置向攻擊發起線運動。⁷反擊目標指向登陸敵之有生戰力，並以最大戰力採正面壓迫，直趨灘際，殲滅登陸之敵於水際灘頭。

聯合兵種營，擔任作戰區反擊作戰之有力部隊，反擊目標指向準備登陸上岸或抵達水際之敵軍兩棲甲車，此時之戰場景況，敵軍顯然已掌握登陸地域之全部或局部空優及海優，就火力支援立場必須思考下列問題：

一、海、空兵力，此時是否具有密切支援之能量，若然，作戰區統一運用，或授權各聯合兵種營管制運用與指揮。

二、若海、空兵力，具有支援能量，攻擊之目標選定為「後續登陸艦船」、「登陸舟波」或「已上陸之敵軍兩棲輪具」。

三、若為「已上陸之敵軍兩棲輪具」，「聯合兵種營」之作戰正面，海、兵力支援時，如何遂行空域管制及建立安全措施，或是應由作戰區統籌規劃、建立。

四、聯合兵種營之任務，為地面作戰機動打擊，現有之目獲、指管工具與通信裝備，對海上時效性之目標如何有效引導攻擊。

⁵《陸軍作戰要綱》（桃園：陸軍總司令部，民國 88 年 1 月），頁 6-5。

⁶王德炎，《高技術局部戰爭中登陸作戰》（北京：解放軍出版社，1994 年 5 月），頁 3。

⁷同註 3，頁 3-121。

五、陸航兵力之運用，由作戰區統一運用，賦予任務或授權聯兵旅、或聯兵營管制運用，目標情資如何獲得與有效運用。

六、作戰區野戰防空兵力之配置，採整體規劃配置、或採分權指揮授權各聯兵營運用，調整其掩護對象。另未來聯兵營防空排配賦之人攜式防空飛彈定位為防空部隊受作戰區防空作戰中心指揮管制或定位為部隊防空武器，由各戰鬥部隊長指揮接戰。

上述相關問題，均影響聯合兵種營火力支援作業編組與設施能量之籌建。

聯合兵種營火力支援協調作業機制問題探討

聯合兵種營指揮所開設通常區分為作戰中心、通訊中心與空管台；作戰中心（包括主任室、作戰作業組、情報作業組、政戰作業組、火力支援協調組、行政作業組）；其編組通常列入營標準作業程序中，作戰中心設置，通常以營部排之兩輛履帶裝甲車，平行或車尾相對停放；以一車設置作戰、情報、政戰作業組，另一車設置火力支援協調組及行政作業組。空管台負責主指揮所內對陸航及戰術空軍指導、目標報告、管制等通信連絡。⁸營作戰中心編組、職務對照如表 2。

營指揮所係以甲車為主體，每部甲車依其配賦之通信裝備無線電機，指揮所（作戰中心）無線通信網之構成通常區分為指揮官網、情報網、火協網、行政網等網路。營部參謀編制之機動載具，主要為搭乘中型戰術輪車（除空軍連絡官、航管連絡官赴第一線導引任務機時則搭乘空管台之八輪甲車）。營指揮所火力支援協調組開設計有數個無線電網路（旅火協網、戰術空軍指導網、陸航指導網、艦砲指導網、戰術空軍管制網、陸航管制網、艦砲管制網、砲兵射擊網、迫砲射擊網、空域管制網）。⁹

表 2 聯合兵種營作戰中心作業編組表

聯合兵種營作戰中心作業編組表				
作戰中心主任：參謀主任				
甲車			甲車	
作戰作業組	情報作業組	政戰作業組	火協作業組	行政作業組
作戰官		政戰官	參三空業官	人事官
訓練官		政戰士		人事士
火協組長		政戰兵	火協組長	後勤官

⁸同註 3，頁 1-22。

⁹同註 3，頁 1-30。

火力連連長			火力連連長	兵	工	官
通 信 官			通 信 官	後	勤	士
空軍連絡官			空軍連絡官	後	勤	士
艦砲連絡官			艦砲連絡官			
航管連絡官			航管連絡官			
防 空 官			防 空 官			
作 戰 士	情 報 官		參二空業官			
作 戰 士	情 報 官		UAV 分析官			
作 戰 士	情 報 士		砲兵連絡官			
車裝無線電	指揮官網、情報網		火協網、行政網			
備 考	※甲車僅搭乘車長、射擊士及駕駛 ※營部參謀及營部組作業士官兵分別搭乘悍馬車及中型戰術輪車					

資料來源：同表一，頁 1-19~20，作者整理繪製。

一、火力支援參謀之編組

陸軍為滿足聯合兵種營具有獨立遂行聯合作戰之能量，於參謀編組中增設陸階官通之空軍連絡官、海軍連絡官、航管連絡官及砲兵之防空官，期望藉由專業之訓練使其具備執行任務之能力，立意甚佳，惟忽略了「連絡官」的本質。

「連絡」本質：連絡，乃是在具有支援關係之各個軍事單位之間建立接觸管道，經由直接之溝通，以降低戰爭迷霧，也是在各個指揮部之間建立與維持密切與持續的實際性溝通的一種最常用的技巧。可使指揮官獲得所需資訊與各種作戰問題的答案，有助指揮官對戰術情勢充分了解。¹⁰

連絡官代表支援部隊指揮官，當作戰複雜性越高時，派駐之連絡官階級通常也會適切提高。指揮官經由連絡官可以直接傳送資訊，不必再透過雙方部隊之幕僚體系傳達作戰資訊，因此連絡官必須要能獲得充分之信任與授權；由於連絡官代表支援部隊指揮官，因此必須具備下列之能力：

首先必須了解指揮官如何思考問題並能說明指揮官之文電。其次，要能傳達指揮官意圖與指導綱要、任務與作戰構想。進而能代表指揮官立場，必須知悉指派單位之作戰任務、戰術運用、部隊編組、作業程序與通信裝備。同時必

¹⁰陸軍司令部，《美軍戰鬥幕僚應用手冊》（桃園：陸軍司令部，民國 95 年 9 月），頁 5-33。

須知悉與了解受支援單位之任務、戰術、編組、幕僚作業程序與慣例。¹¹因此，連絡官應能代表支援部隊長與受支援部隊間協調作戰、情報、後勤支援、行政支援等種種問題，絕非僅止於火力支援協調。

當陸軍於聯合兵種營增編陸階官通之空軍連絡官、海軍連絡官、航管連絡官及砲兵之防空官時，已設想到上述人員僅有戰時作戰職能，平日並無相對業務可以辦理，所以該等人員又分別兼任人事官、訓練官、後勤官，顯現出在平時如何與支援部隊建立慣常之聯絡體系並未有具體之管道建立。

就美軍連絡官之編設概念，應為戰況發生時，由編制於陸航部隊、空軍聯隊或海軍支隊之戰術軍官派駐至聯兵營，與國軍現行運用陸軍人員充任之概念截然不同。就本軍運用陸階軍官擔任連絡官，可能產生之疑慮：

- ◆如何代表支援部隊指揮官。
- ◆如何了解支援部隊之現況與作業程序。
- ◆對支援部隊之參謀體系與戰術運用之認識。
- ◆運用何種機動載具返回支援部隊協商與報告協調細節。
- ◆配賦之通信工具為何。

另探討火協成員編組必要性，依職務逐一分析說明：

（一）連絡管制官，所代表的意涵為既要擔任連絡官，又要兼任管制官。

依聯合兵種營之編裝，空軍連絡官、艦砲連絡官、航管連絡官、防空官，為編制之職稱，但火協編組運用時在「周全與完備」之概念作祟下，均分別冠以「連絡管制官」之任務編組名稱，並未行深入之研究其差異。

前進管制官之主要職責：提供空軍支援能力與限制因素，並分析天候地形對空軍支援之引導，建議支援兵力運用；與鄰接管制官及上級聯絡官保持密切聯繫，瞭解支援狀況，協助督導及管制。¹²前進空中管制官引導管制飛機，執行空中密接支援任務，在空軍連絡官指導下負責開設一個空管組（ACT）執行引導空中密接任務機任務。空管組（ACT）由前管官及通信作業士組成，應隨同第一線部隊行動，負責空中攻擊目標之指示，攻擊成果之鑑定，並將一切相關情報資料報告上級單位及空連官。¹³

就空中密支兵力之管制責任，當密支任務機起飛後，在未抵目標區前及返航時，由空軍戰管單位管制其行動；抵達目標區執行任務時，則轉由地（海）面空管組或空中前進管制官予以指揮管制，而戰管單位仍須保持監控，適時提

¹¹同註 10，頁 5-34。

¹²《空軍密接支援作戰教範（第二版）》（臺北：國防部空軍司令部，民國 97 年 1 月），頁 1-5。

¹³《前進空中管制官作業手冊（第二版）》（臺北：國防部空軍司令部，民國 98 年 4 月），頁 2-1~2。

供空中敵情，以確保任務達成。¹⁴

空軍連絡官（ALO）依《陸空聯合訓練教範》陸空指揮管制協調體系，主要是派駐作戰區至聯兵旅之層級，負責計畫協調、管制，不負責任務機之實際引導。

（二）火力支援組長與砲兵連絡官

火力支援組長，擔任營之火協官，為營長之特業參謀及火力顧問，其機動工具係與營級參謀共乘甲車或悍馬車，亦無配賦專用之通信裝備，若基於戰況之需求，須陪同營長前往第一線遂行機動指揮時，運用何種通信裝備將營長之火力要求傳送回營火協組。

砲兵連絡官，係由聯兵旅砲兵營依作戰計畫或《戰鬥間現行作業程序》慣常派駐聯兵營，擔任砲兵與戰鬥部隊之聯絡、協調任務，並兼任聯合兵種營火協組之助理火協官，配賦有輕型戰術輪車及車裝無線電機，參加砲兵營射擊網及砲兵營（連）指揮官網，當火力支援組長離開火協作業組時，代理火協官角色。

（三）火力連代表

營火力支援組火力連代表由火力連連長擔任，火力連連長，為戰鬥部隊指揮官，配賦有輕型戰術輪車及車裝無線電機，下轄之部隊有反甲排、監偵排、120迫砲排、狙擊組等，對下級部隊之指管，可藉由火力連建制之指揮官網遂行，然戰鬥部隊長是否適合長時間於營指揮所擔任協調角色，值得探討。

（四）空軍連絡官與航管連絡官

依《陸軍聯合兵種營作戰教範（草案）》規範，空管台負責主指揮所內對陸航及戰術空軍指導、目標報告、管制等通信連絡並與上級空管台構成平面通信，若依任務前推至管制位置，引導在空機，實施各項安全管制作為及目標攻擊。營僅編制配賦空管台一組，無法同時執行對戰術空軍及陸航直升機支援兵力之通連與引導其運用上之限制。

（五）防空官

防空官，參與火協作業，若有野戰防空部隊支援時，依參三及空軍連絡官、航管連絡官，協調之空中兵力使用計畫，擬定空域管制計畫，協調相關空中安全管制措施。惟並未編制任何之通信裝備可供運用。

（六）通信官

納入火協作業之編組之目的在維持火協作業組各項通信設施之線路暢通，然通信官其職責為建立與維持營指揮所各項通資線路暢通，若依此理則，必須

¹⁴同註 13，頁 1-6。

參加營指揮所所有之編組，有多此一舉之疑慮。

二、火力支援參謀之機動工具與通信裝備

現行聯合兵種營參謀組及營部行政排作業官兵，依編裝使用之機動工具為輕型戰術輪車、悍馬車及中型戰術輪車，¹⁵聯合兵種營指揮所編成，係以履帶式甲車所組成，以此甲車為核心，其通信裝備為甲車配賦之車裝無線電機，開設指揮官網、情報網、火協網、行政網等網路。

聯合兵種營營部參謀並未配賦個人之機動車輛及與支援部隊聯繫之通信裝備，僅能以軍線轉接；另空軍連絡官及航管連絡官共同使用空管台（八輪甲車、無線電機），依任務需求遂行任務機導引；海軍連絡官當有直接支援艦支援時，作戰區地境內之通資電軍通資大隊編制之艦砲管制組（輕型戰術輪車、無線電機）兩組，可依作戰區命令支援。

砲兵營慣常支援之砲兵連絡官，配賦有輕型戰術輪車及車裝無線電機，可開設（參加）兩個無線電網（砲兵射擊網、砲兵營（連）指揮官網）。

就《聯合兵種營作戰教範》所規劃之營指揮所火力支援協調組開設計有數個無線電網路（旅火協網、戰術空軍指導網、陸航指導網、艦砲指導網、戰術空軍管制網、陸航管制網、艦砲管制網、砲兵射擊網、迫砲射擊網、空域管制網）依其編制現況，將全數開設。

三、火協作業機制與作業程序

《國軍教戰總則》第十八條「活用準則」所揭示，作戰時萬事簡約而又精練者，始可期其成功，各種準則皆應本此旨趣，以制定作戰指導與軍隊行動之原則、要領及制式。

現行之火協作業機制與作業程序所強調的「周全與完備」之概念，立意甚佳，但在有限的國防資源與員額受限的聯合兵種營編裝言，並不切實際，亦有違《國軍教戰總則》之教示。

營部參謀及戰鬥支援連營部作業組之作戰士、情報士、無線電話務等指揮所作業人員，依編裝使用之機動工具為輕型戰術輪車、悍馬車及中型戰術輪車，兩部履帶式甲車，則僅搭載營部組作業官兵。值得關注的是，甲車與輪型車輛機動能力不同，指揮所全數之機動車輛，有多少空間，能隨行指揮所之作業工具究竟有多少，分配火力支援組能攜行之作業工具為何？兩部甲車除既有的電網外，如何再開設火力支援組所需的無線電網？依《聯合兵種營作戰教範》所規範之聯合兵種營作戰中心作業圖表，如表 3。以營之作戰層級，在有限作業空間中，可以思考如何簡化掛圖、表。

¹⁵ 《陸軍機械化步兵部隊裝載手冊》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 107 年 10 月），頁 2-27，28。

表 3 聯合兵種營作戰中心作業圖表

聯合兵種營作戰中心作業圖表				
		狀 況 圖	四 腳 註 記	掛 表
甲 車	作戰情報作業組	作戰狀況圖	任務 任務編組 敵較大可能行動 敵作戰序列	作戰構想 決心支援圖解 協同計畫管制表 光度潮汐資料表 天氣狀況分析表 情蒐機構通信連絡及情蒐 要項表 附記
	政戰作業組	政戰狀況圖	任務 任務編組 政戰構想 附記	
甲 車	火協作業組	火力支援 狀況圖 海空支援 狀況圖	空軍動態表 限制射擊計畫表 支援武器現況表 附記	
	行政作業組	勤務支援 狀況圖	任務 任務編組 支援構想 附記	裝備現況統計表 第一、三、五類統計表 戰鬥人員日報表 大事紀要

資料來源：同表一，頁 1-23~25，作者整理繪製。

四、目標獲得與指管能力

聯合兵種營規劃於反擊發起時，投入戰鬥，各種支援火力與連絡官聯絡體系之建立，是否符合作戰需求，以海軍連絡官為例，其聯絡機制建立之必要性，存有探討空間。

作戰區依參謀本部命令，於國土防衛作戰階段統一指揮作戰地境內之三軍地面部隊及海軍戰存輕快兵力，上述海軍兵力僅能射擊海上目標。另海軍主戰兵力僅基隆級艦及濟陽級艦配備有五吋艦砲，能支援地面部隊作戰。

當共軍兩棲艦船發航後，即在我軍現有之觀通雷達監控範圍內，當船團目標形成時，就參謀本部立場言，敵軍「作戰重心」形成，應儘早運用射程可及之海、空兵力或岸置飛彈予以擊毀。或授權各火力單位，運用其建制目獲手段，

依攻擊指導規劃之目標，自行接戰。

海軍主戰兵力基隆級艦及濟陽級艦除反艦飛彈外，另配備有五吋艦砲，雖能支援地面部隊作戰，但五吋艦砲射程有限，若要發揮艦砲支援能力，勢必進入共軍已經掌握有全部或登陸地域局部之海、空優勢之登陸海域內，在發揮艦砲射程之前，恐已遭受共軍致命性攻擊。

就作戰區內岸置飛彈若授權作戰區管制時，作戰區之攻擊指管命令可藉由作戰區編制之海軍連絡官，運用迅安系統與地區內海軍雷達站台構連，下達攻擊命令；若指管中斷時，則授權海軍固定（機動）雷達站依現行作業程序接戰，聯合兵種營依現況並無指管工具可以運用。

聯合兵種營編制有無人飛行載具，可偵蒐距岸目標，此時，登陸海面上若存有大型艦船目標，可能顯示出共軍已經掌握有全部或登陸地域局部之海、空優勢，我軍支援聯合兵種營作戰之海、空兵力已無力出擊，若有支援能量，作戰區以上層級（具有一定之海面偵蒐能力之單位），應主動要求海、空兵力迎戰。

落實聯兵營火力支援協調機制之我見

聯兵營參謀編組，增編陸階之海軍、空軍、航管連絡官、防空官等看似參謀齊全，聯戰戰力驟然大增；但細部研究，參照《陸軍聯合兵種營作戰教範（草案）》之指揮所編組與通資網路架構，實有在研究、檢討之空間。

建軍規劃之概念，在於「打、裝、編、訓」之結合，也就是考量未來的作戰型態與作戰需求，研製或採購符合作戰需求之武器裝備，接續配合合理的組織架構、人員編組、指管工具、後勤支援等建構一個可執行戰力的有機體，最後基於前述之編裝能力與限制，研究可以執行的作業機制、戰術、戰法、作業程序等納入準則，戮力部隊訓練。

「備戰」，則基於「有什麼、打什麼」之理則，不談理想，只談現實。當聯兵營編成後，如何結合聯兵營之現有編制，研擬可行之編組、機制與作業程序，納入兵監教學、部隊測考，完訓後，則可擔任戰備，執行作戰任務。個人務實的基於部隊執行備戰之角度，探討現行《陸軍聯合兵種營作戰教範（草案）》第一章第五節火力支援協調所規範之作業機制與程序，部隊執行可能產生之窒礙，並針對下列問題，研擬可行作法，實施評估。

一、火協作業編組

火協編組成員，必須考量營之作戰任務、支援兵力任務與特性、本階層可獲得支援之可能性，決定編組成員，避免陷入人多即是戰力之迷思。當部隊階層越低時，可獲得之支援武器與手段就相對有限，若火力支援組之成員涵蓋作情中心成員之半數或三分之二以上時，則必須考量其合併開設之可行性，避免因火力支援協調作業組之合署作業，而影響作戰作業組與情報作業組之運作。

若作戰作業組數個席位、火協作業組數個席位、情報作業組數個席位，當火協作業組運作時，作戰作業組僅剩下訓練官與作戰士、通信士，情報作業組則僅留下情報士，將影響指揮所整體運作效能與大幅增加設施開設作業項量。

表 4 聯合兵種營作戰、火協、情報作業編組對照表

聯合兵種營作戰中心作戰、火協、情報作業編組對照表								
作 戰 作 業 組	火 協 作 業 組	情 報 作 業 組						
作 戰 官	參 三 空 業 官							
訓 練 官								
火 協 組 長	火 協 組 長							
火 力 連 連 長	火 力 連 連 長							
通 信 官	通 信 官							
空 軍 連 絡 官	空 軍 連 絡 官							
艦 砲 連 絡 官	艦 砲 連 絡 官							
航 管 連 絡 官	航 管 連 絡 官							
防 空 官	防 空 官							
作 戰 士	參 二 空 業 官	情 報 官						
作 戰 士	U A V 分 析 官	情 報 官						
作 戰 士	砲 兵 連 絡 官	情 報 士						
通 信 士		情 報 士						

資料來源：同表一，頁 1-19~20，作者整理繪製。

就聯合兵種營之層級，除砲兵及建制火力運用外，陸航兵力為可期之支援火力，海、空兵力直接受營之管制機率甚微，另作戰區防空部隊，由作戰區統籌規劃、配置，單獨配屬聯合兵種營之機會亦不高；火協作業以運用情報部門之情蒐成果，若有運用需求，可由參二空業官（營情報官）負責，UAV 作業參謀編組亦可考量與以精簡；指揮所各部設施通信建立與維持，乃通信官之本務，亦可檢討上述參謀納入火協作業編組之必要性。若火協作業人員無法精簡，則應思考如何與作戰作業組整併。

另現階段陸階官通科之海軍、空軍與航管連絡官除透過現有之專長訓練體系與演訓參與增加其實務經驗；並應思考平時如何讓渠等人員與空軍聯隊、海軍支隊建立交流、交織訓練管道，參謀本部或作戰區層級必須統籌規劃，運用聯合兵種營之任務空檔，結合空軍聯隊、海軍支隊之演訓期程，每年定期派駐友軍單位，參與平時教育訓練、演訓任務整備、任務執行與復原檢討，方能深切體認彼此任務、特性、能力與限制，甚至於戰術運用之思維。

二、任務編組之火協成員

任務編組之火協成員（如火力連連長），須整體考量其納入火協運作之必要性與可行性，並思考如何兼顧原職務職責或尋求適切之代理人。依《聯合兵種營作戰教範》第一章第五節律定火力連代表於火協作業之職責計三點：一、掌握及管制迫砲火力支援狀況，二、依營長指示或火力支援協調組協調結果，提供迫砲之運用建議，三、協助擬訂營火力支援計畫中有關迫砲支援部分及迫砲火力計畫。就火力連之組成，除 120 迫砲外，另有反裝甲排、監偵排、狙擊組等，雖由營統一配置運用，但行政、後勤作業責成副連長督導，所需之機動工具與指管工具亦應納入整體考量與規劃。

三、機動載具

從編制機動載具，探討火協作業參謀與士官兵，如何跟隨部隊機動或機動遂行引導、管制支援火力，其搭乘載具為何？從聯合兵種營之編裝，營部排負責執行營指揮所之開設與作業支援，整體言，參謀整體性之機動均納入機動裝載序列中，但參謀（連絡官）個別機動工具則未納入規劃，表示艦砲、空軍、航管連絡官、防空官與支援部隊間之協調、聯繫僅能以通信手段行之。聯合兵種營戰鬥支援連編制空管台一組，提供空軍、航管連絡官引導任務機使用，顯示同一作戰時間空軍與陸航僅能擇一使用，必須考量增編一組空管台。另作戰區配賦兩組艦管組，若聯兵營未獲分配運用時，則艦砲連絡官則無機動與通信工具可供使用，並考量聯合兵種營運用之機率，建議將艦砲連絡官移編作戰區與艦管組行整體之運用規劃，若有艦砲支援兵力時，再分配指定之聯合兵種營。

四、通資網路

當火力支援部隊編組複雜，通資網路構成亦相對複雜，數據化資訊傳輸為必然之趨勢，然無線電網路為野戰部隊主要之通聯手段，其運用受限於副台數量、傳輸模式（雙向半單工），網路規劃必須考量其納網之必要性，排定優序，避免過多副台，影響通聯阻斷。聯兵營因未編制空援台，現行海、空申請作業所需之資訊傳輸方式亦必須調整因應或增編空援台。

五、設施開設

營指揮所作戰中心開設，火協作業組與行政作業組共同運用一部甲車，火協作業組運作應以建制裝備為主，評估可供裝載與作業空間，檢討現行作業工具與表簿，符合其裝載與運輸能力，並務實探討營之能力、限制，制定可執行、可操作之作業程序。如上述表 3、表 4 所示，作戰作業組、火協作業組、情報作業組，編組人員高度重疊，掛圖表過於繁雜，如何運用同一作業平台，將作戰狀況透明圖與火力支援狀況圖，採一鋪一掛之方式，運用時鋪設。另火協專屬設施與文件則應思考如何簡化、合併或共享運用，任何一項作業文件或設施之

設立，亦應思考有無能力建立與維持、資料流如何形成、何人負責操作、標示與回報。

五、安全管制措施建立權責

考量部隊層級、作戰地境大小與管制能力，依支援兵力特性，審視現行各項安全管制措施建立之權責與管制作法。防衛作戰作戰區，本「獨立守備、分區擊滅」之作戰指導，海、空支援兵力，以分配作戰區為原則，現行海、空援申請作業程序與安全管制措施建立之權責，必須結合防衛作戰思維與作戰權責，審視檢討。如海上安全航道（SSL）、空中安全走廊（ASC）、火力支援協調線（FSCL）等安全管制措施，由聯兵旅（含）以上層級建立，須深入探討支援兵力特性、生效時間起、迄點、地理位置與鄰接部隊之關係等。

結語

國軍因應未來防衛作戰構想，地面部隊主戰兵力朝「聯合兵種營」發展，其火協作業機制，亦必須結合未來作戰需求與作戰環境，創新思維，不拘泥於傳統作戰窠臼，務實檢討編組成員、機動載具、通信工具、作業空間與作業程序，確認人員、裝備、載具、通信都能相互結合，方能符合戰場實需，發揮戰力。若編裝無法滿足，則應基於「有什麼，打什麼」的理則，務實檢討戰術運用方式與修訂準則，方能發揮實際戰力。

參考資料

- 一、《陸軍聯合兵種作戰教範（草案）》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 109 年 3 月）。
- 二、《前進空中管制官作業手冊（第二版）》（臺北：國防部空軍司令部，民國 98 年 4 月）。
- 三、《美軍戰鬥幕僚應用手冊》（桃園：陸軍司令部，民國 95 年 9 月）。
- 四、王德炎，《高技術局部戰爭中登陸作戰》（北京：解放軍出版社，1994 年 5 月）。
- 五、《國軍聯合作戰要綱》（臺北：國防部準則編審指導會，民國 108 年 6 月）。
- 六、《空軍密接支援作戰教範（第二版）》（臺北：國防部空軍司令部，民國 97 年 1 月）。
- 七、《陸軍作戰要綱》（桃園：陸軍總司令部，民國 88 年 1 月）。
- 八、《陸軍機械化步兵部隊裝載手冊》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 107 年 10 月）。
- 九、《陸軍裝甲部隊裝載手冊》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 107 年 8 月）。

作者簡介

李志虎備役上校，陸軍官校 77 年班，砲校正規班 163 期，曾任營長、主任教官、教官組長、副參謀長，現任職於陸軍砲兵訓練指揮部戰術教官組。

實彈射擊常見問題與策進作為－復仇者飛彈系統

作者：楊培毅

提要

- 一、我國空域受對岸之威脅與國際衝突事件的空中攻擊戰術的改變，筆者思考國軍復仇者野戰防空部隊執行防空任務的重要性，藉多年當任復仇者飛彈系統教官與年度演訓及實彈射擊之輔導暨評鑑官的經驗，探討神弓操演實彈射擊之訓練效能與檢討精進，為本研究目的。
- 二、以提升野戰防空部隊防衛作戰能力為目的，針對復仇者野戰防空部隊，藉駐地輔訪、射手集訓、射場整備、射擊評鑑等作為，協處訓練窒礙、擴大訓練成效、維護射擊安全，並透過實彈射擊，評鑑操演部隊接戰程序、武器效能及狀況處置等，期達到「訓練高標準、射擊零危安」之訓練目標。
- 三、歷年神弓操演實彈射擊輔訓總共需 3 個月之期程，其作法採分階段執行，主要測裁評鑑區分「駐地輔訪」、「射手集訓」、「射場組合訓練」、「射擊評鑑」等方式實施，其中也包含了操演場地之先期勘查、參演武器的配置與靶場規劃，及射擊時序的調整等。
- 四、射向自動指引目的主要在於縮短射手尋找空中目標，增加作戰反應時間，並提高命中率；而其功能主要有以下三點：「減少系統反應時間，增加目標鎖定機率」、「增加巡弋飛彈（CM）與無人飛行載具（UAV）接戰能力」、「增加接戰目標機會與截殺能力」。
- 五、射擊模式多元化，增強射手接戰反應，為符合戰場景況，同時磨練射手對於短時間接戰、高強度戰場心理抗壓能力，規劃於實彈射擊場週邊，勘選多處靶彈發射陣地，採異地、改變角度與方向路徑等方式發射靶標，使射手可因應不同狀況實施追瞄射擊，並規劃於波次內射擊順序採臨機決定，使射手可透過臨機目標交付，強化目標搜索、追瞄及射擊穩定性，以提升射手接戰能力。此外考量刺針飛彈年度訓量一年比一年增加，而核定的實彈射擊時間（天數）與場地有限，復仇者飛彈系統應可安排一個射擊波次之行進間射擊與遠端遙控射擊，以利收集射擊參數，提供未來實彈規劃運用。此外，蜂眼指管分配目標交付給復仇者行射向自動指引的目的在於讓武器系統縮短搜索空中目標之時間，提早轉向目標指向以完成接戰準備，單位無需再次等待目標飛至接戰範圍再執行射向自動指引來接戰，故為有效提昇接戰反應，復仇者飛彈系統一旦接獲蜂眼指管交付目標指令，應立即執行射向自動指引動作，以利在更早時間之時間點完成接戰準備或有利

增加再次（第二枚）接戰的可能性。

關鍵詞：實彈射擊、刺針飛彈、復仇者飛彈系統

前言

民國 109 年中共軍機頻頻干擾臺灣領空，經國防部結算統計至 10 月 7 日止，共機就已經有 253 架次侵擾我臺灣防空識別區，¹其中 202 架次侵擾我臺灣西南防空識別區（圖 1），更有 49 架次逾越我海峽中線，挑釁與威嚇我臺灣意圖異常明顯。²總統蔡英文也在國慶日致詞中強調說明，面對區域和平穩定受到威脅，我們堅守「不畏戰，不求戰」的原則，³並憑藉著堅實的防衛決心和實力，才能保障臺灣安全，維護區域和平。

此外，國際間因無人機攻擊事件，如亞賽拜然與亞美尼亞兩國間的軍事衝突，沙烏地阿拉伯油田遭無人機與巡弋飛彈攻擊事件，⁴再次證明低價值之空中無人載具（UAV）戰術攻擊運用方式，改變了以往空層的攻擊與防禦模式，更讓傳統的武器與兵力部署之戰術運用，面臨了全新與更複雜的挑戰。

筆者鑒於我空域受對岸之威脅與國際衝突事件的空中攻擊戰術的改變，思考我軍復仇者野戰防空部隊執行防空任務的重要性，並藉著多年當任復仇者飛彈系統教官與年度演訓以及實彈射擊之輔導暨評鑑官的經驗，探討神弓操演實彈射擊之訓練效能與檢討精進為本研究要旨，並提供野戰防空幹部面對有限的射場與射擊時序，並結合射場安全規劃，以增進野戰防空實彈射擊訓練之效能。

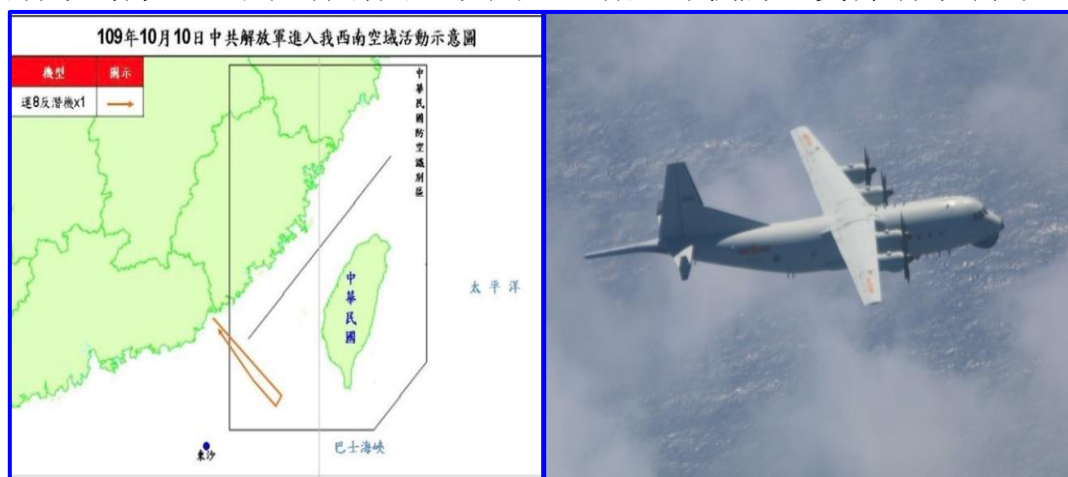


圖 1 共機侵擾我防空識別區

¹ 游凱翔，〈中央社新聞〉〈共機頻擾台，空軍 24 天內出動 373 架次對應〉，[https:// www.cna.com.tw/news/fir/stnews/202010220201.aspx](https://www.cna.com.tw/news/fir/stnews/202010220201.aspx)。（2020/10/22）

² 軍聞社記者黃劭恩（國防部即時軍事動態），〈共機再度進入西南空域，空軍巡邏兵力應對飛彈追監〉，[http:// www.gpwd.mnd.mil.tw/Publish.aspx?p=75535](http://www.gpwd.mnd.mil.tw/Publish.aspx?p=75535)。（2020/11/11）

³ 蔡文玲，〈東森新聞〉〈不畏戰，不求戰〉，<http://www.ettoday.net/news/20201010/1828273.htm>。（2020/10/10）

⁴ 洪安妮、謝志淵，〈2019 沙烏地阿拉伯油田遭無人機空擊事件研究〉《陸軍學術雙月刊》（桃園），第 56 卷 57 3 期，2019 年 10 月 1 日，頁 46。

實彈射擊操演目的與執行構想

一、目的

依司令部年度「飛彈射擊操演」規劃，由砲訓部編成野戰防空部隊測裁（輔訓）評鑑組，肩負兵監輔導之責，藉實彈射擊驗證部隊駐、基地訓練成效，以及磨練幹部射擊指管程序，置重點於射擊整備、武器射擊效能及擴大射手實彈射擊種能培訓，以提升野戰防空部隊戰力。

二、執行構想

以提升野戰防空部隊防衛作戰能力為目的，針對復仇者野戰防空部隊，藉駐地輔訪、射手集訓、射場整備、射擊評鑑等作為，協處訓練窒礙、擴大訓練成效、維護射擊安全，並透過實彈射擊，評鑑操演部隊接戰程序、武器效能及狀況處置等，期達到「訓練高標準、射擊零危安」之訓練目標。

執行概況介紹

歷年的實彈射擊輔訓總共需三個月之期程（圖 2），其作法採分階段執行，主要測裁評鑑區分「駐地輔訪」、「射手集訓」、「射場組合訓練」、「射擊評鑑」等方式實施，其中也包含了操演場地之先期勘查、參演武器的配置與靶場規劃，以及射擊時序的調整等。

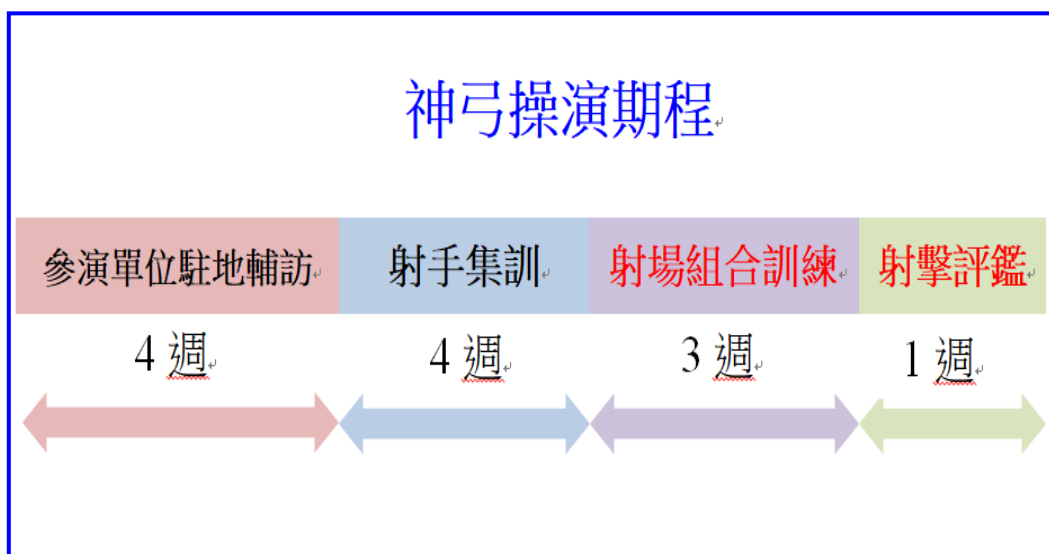


圖 2 神弓操演期程

資料來源：作者自繪

一、駐地輔訪

駐地輔訪主要是輔導與協助參演部隊完成進訓前之各項訓練整備，並驗證駐地訓練執行成效、操演編組、人員專長驗證與鑑測、桌上型模擬器運用實況、操演裝備的維保妥善狀況、彈藥的挑選，以及囤儲方式是否依據美軍刺針飛彈「儲存計畫暨安全規定」（PROJECT GM675-75）管理（圖 3）。



圖 3 駐地輔訪

資料來源：作者拍攝

二、射手集訓

參演單位遴選飛彈排（班）長及射手至砲訓部實施集訓 4 週，另由連級以上幹部擔任靶場安全軍官（RSO）者實施 1 週之聯合操作訓練，主要藉由座艙型復仇者飛彈訓練模擬器與桌上型模擬器來模擬實彈射擊場景，強化射手對武器系統的認知與對武器射擊操作之接戰程序、靶彈（機）追瞄、目標鎖定、飛彈音頻之判定、飛彈射擊時機、效果監控與故障排除之技巧，並以年度實彈射擊影片與訓後檢討之回顧為重點，藉以提升射手操作熟稔度與射擊命中率；⁵期間，並加強受訓人員對靶場設施與武器安全配置要領的教育，以利後續部隊機動至九鵬訓場執行各射場陣地之開設準備（圖 4）。



圖 4 射手集訓

資料來源：作者拍攝

⁵ 楊培毅，〈提升刺針飛彈接戰靶彈射擊成效之研析〉《砲兵季刊》（臺南），第 173 期，民國 105 年 6 月 27 日，頁 50。

三、射場組合訓練

此階段為參演部隊機動至射擊場地後，結合現地實彈射擊場景所實施的訓練（圖 5），主要針對射場安全射界的校準標定與各射擊陣地整備與配置（圖 6）所實施之訓練，包含陣地與指揮所開設、射擊範圍左右極限之量測、系統每日檢查、射控安全管制盒連接測試、拆彈檢查、取彈上架，系統射擊模式設定等訓練，並強化各營（連）級主官召集所屬靶場安全軍官（RSO）與射手執行射管程序、故障排除演練及落實各項參演裝備保養作為；另外，此階段的第三週訓練，規劃數次的真實靶彈/靶機飛試，讓武器系統執行追瞄訓練與模擬接戰程序，以利實彈射擊評鑑先期準備。



圖 5 射場組合訓練

資料來源：作者自攝



圖 6 射場配置示意圖

資料來源：作者自繪

四、實彈射擊評鑑

此階段為參演部隊最後訓練的戰力驗證，射擊評鑑項目計靶場安全軍官（RSO）指管作為、武器系統操作、射手接戰程序、飛彈光網與音頻判定、飛彈發射時機及射擊效果等六項（圖 7）。鑑於高加索地域衝突－納卡戰爭運用無人機戰術攻擊，⁶以及阿拉伯油田攻擊事件運用巡弋飛彈與無人機相互掩護的成功戰術，⁷實彈射擊課目也是針對面臨上述威脅而設計，而基於復仇者飛彈系統具全天候作戰之能力，為使武器發揮最大效能，突破現階段僅運用模擬器實施夜間射擊訓練方式，規劃利用終昏夜間時機以 BATS 靶彈實施夜間追瞄課目訓練，以強化射手夜間接戰能力，提升野戰防空最大作戰效能；此外，為提升早提預警作戰效能，射擊評鑑除了接戰 BATS 靶彈目標外，更將紅火蟻 3 型靶機（圖 8）設定為來襲的無人機目標，以蜂眼雷達指管復仇者飛彈系統執行「射向自動指引」接戰無人機之實彈驗證。射向自動指引（圖 9）目的主要在於縮短射手尋找空中目標，增加作戰反應時間，並提高命中率；而功能主要有三點：「減少系統反應時間，增加目標鎖定機率」、「增加巡弋飛彈（CM）與無人飛行載具（UAV）接戰能力」、「增加接戰目標機會與截殺能力」。⁸



圖 7 實彈射擊評鑑

資料來源：作者拍攝

⁶ 陳舜協，〈聯合新聞網〉〈台灣須從納卡戰爭獲得啟示〉，<https://udn.com/news/story/6844/5066591>。（2020/12/07）

⁷ 同註釋 4。

⁸ 《復仇者飛彈系統操作手冊（第二版）》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 99 年 11 月 10 日），頁 8-1。

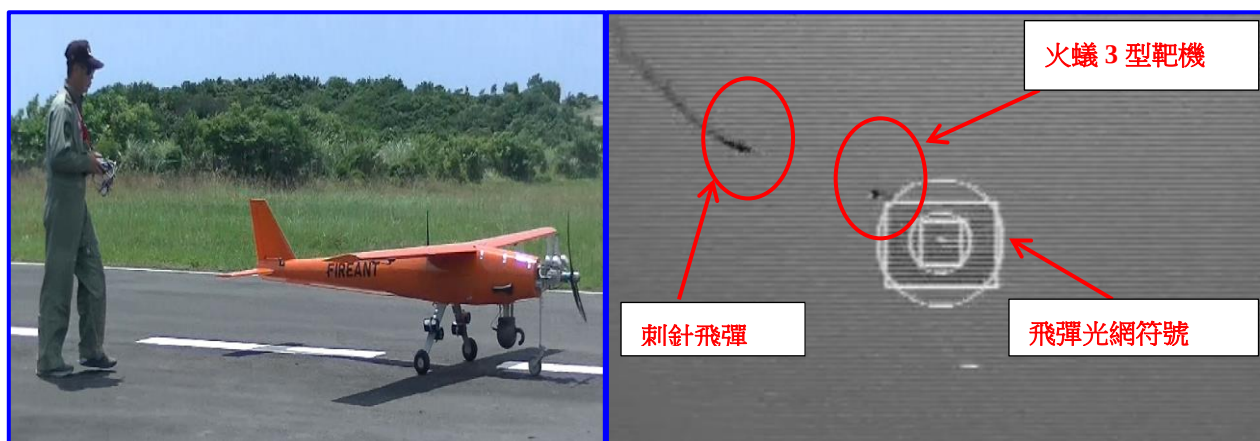


圖 8 紅火蟻 3 型靶機（左）與接戰畫面側錄（右）

資料來源：作者白攝

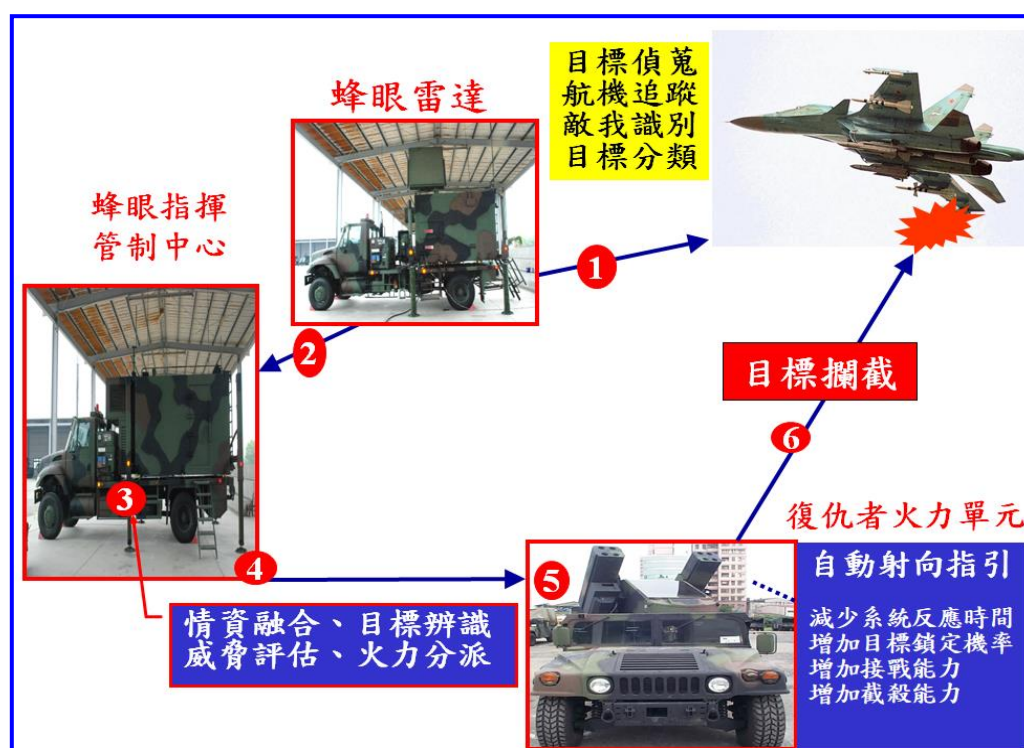


圖 9 射向自動指引示意圖

資料來源：作者自繪

實彈射擊常見問題

操演的執行歷經駐地輔訪（含訓練整備、射場現勘、靶場配置）、射手集訓、射場組合訓練、射擊評鑑等過程，各項常見窒礙問題與缺失，將聚少成多、積沙成塔，最後將導致嚴重影響操演的執行與目標的達成，作者就歷年神弓操演的觀察，將常見問題以條例式方式說明檢討：

一、單位裝備一級、二級保養

復仇者飛彈系統於民國 89 年接裝，民國 90 年正式成軍至今已歷經 20 年之

久，⁹武器系統並非傳統式的機械裝置，反而是更多的精密電子模組裝備，然系統除了經歷歲月摧殘外，還得應付皎陽似火的烈陽曝曬，更要經得起陰雨天候環境的考驗，而要維護裝備完善實之不易，但筆者仍於駐地輔訪階段發現發射架內部控制飛彈發射的元件（圖 10）與電子訓練彈（圖 11），因保養問題而損壞，進而影響任務後續的執行。

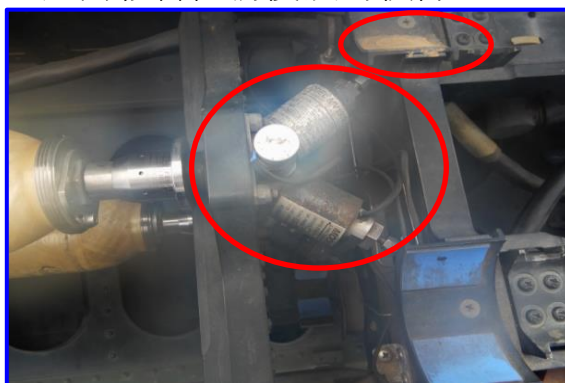


圖 10 發射架內部電子元件
生鏽與積塵



圖 11 電子訓練彈前視窗破損

資料來源：作者拍攝

二、模擬器訓練想定操作

復仇者桌上型模擬器擁有射擊課目想定的設計功能（圖 12），¹⁰可供部隊人員配合真實作戰需求，用模擬器以仿真的地形、天候、目標種類、飛行路徑、攻擊方式與部署位置等需求，設計出與實彈射擊場景一致的接戰程序，然輔訪階段所見卻發現部隊單位常以慣用的單一射擊課目來執行訓練，因此單位執行年度射擊課目的訓練應加強結合實際狀況。

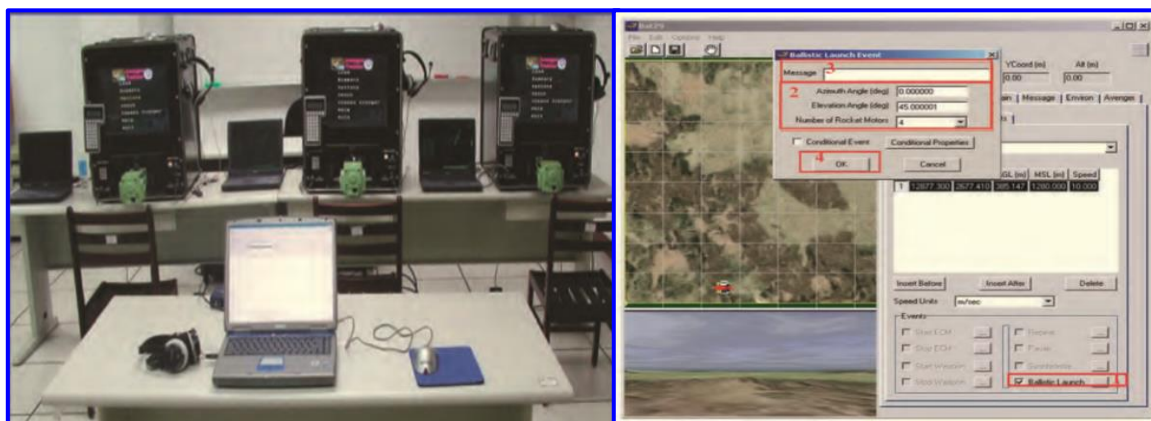


圖 12 復仇者桌上型模擬器想定設計功能

資料來源：同註釋 8

⁹ 同註釋 5。

¹⁰ 林依正，〈復仇者飛彈系統桌上型訓練模擬器教學手冊〉（桃園：國防部陸軍司令部，民國 96 年 10 月 02 日），頁 3-31。

三、幹部訓場現勘及靶場安全規範

雖然每年度的實彈均於同一射擊場實施，但仍有單位各級幹部未能將靶場安全規範與現地結合運用，對各陣地（如射控安全管制站、射擊陣地、未爆彈處理坑、靶彈/靶機發射區、彈藥堆積所、人員應變中心等）工事構築與配置位置，以及射場的左右極限安全範圍的求取都是一知半解的情況；經查其原因，主要是參演單位平均時隔 2 至 3 年以上才參加一次實彈演訓（表 1），單位因經驗移交機制問題，致傳承出現斷層，應加強即時更新與銜接任務。

區分 ↓ 單位	年度	防空連	防空連	防空連	防空連
▲軍團	106 年		★		★
	107 年			★	
	108 年	★			
	109 年			★	
	110 年				★
★軍團	106 年		★		
	107 年	★			
	108 年			★	
	109 年		★		
	110 年			★	
●防部	106 年	★			
	107 年	★			
	108 年	★			
	109 年				
	110 年	★			

表 1 野戰防空復仇者部隊近年參演實彈任務統計表

資料來源：作者自繪

四、射手夜間追瞄程序

實彈射手平日演練已習慣於晝間時段執行追瞄訓練，在光線充足環境下實施系統檢查、彈藥裝填、系統接戰設定等程序，然在當射場由晝間轉換成夜間追瞄時，卻忽略了重置系統的接戰設定，而導致飛彈尋標器無法開鎖，無法在時限內有效完成夜間追瞄接戰程序。

五、射擊模式固定，接戰課目單一

現行射擊課目，歷年都以靶彈模擬巡弋飛彈的攻擊為主要射擊課目，偶爾會穿插火蟻靶機模擬定翼機或無人機（UAV）的攻擊飛行路徑為射擊課目，故靶標設計均以固定飛行路徑讓復仇者飛彈系統接戰，未能將武器系統發揮到極致；此外，以蜂眼指管目標交付給復仇者迎戰靶機目標，發現射手之接戰反應

耗時，拖泥帶水，未能提早完成射向自動指引之接戰準備，然就以復仇者飛彈性能而言，系統除可以採放列式定點射擊外（圖 13），更可在飛彈車於機動期間實施行進間射擊，也可在人員脫離飛彈車的情況下，實施遠端遙控射擊（圖 14）。



圖 13 復仇者飛彈系統定點射擊

資料來源：作者自攝



圖 14 遠端遙控射擊

資料來源：作者自攝

六、刺針飛彈屆壽及飛彈效能

實彈射擊所使用之刺針飛彈，目前已達規範壽限，經實彈射擊驗證該批號之彈藥，偶發異常狀況，顯示見飛彈效能產生逐年衰減現象。

實彈射擊策進作為

一、落實單位維保制度、檢討備料項目

單位配合連主官裝備檢查期程，對飛彈車進行全面性預防保養檢查勤務（PMCS），並建議飛勤廠規劃備料清單，可依據歷年演訓經常損壞品項參數，檢討納入備料清單，並於演訓前 3 個月執行裝備檢整，前 1 個月實施裝備鑑定與簽證作業，確認系統穩定運作、裝備妥善，確保操演任務執行順遂。

二、單位建立模擬器師資

單位配合砲訓部年度班隊流路，精選俱備實彈射擊經驗之資深幹部擔任模擬器師資，並派訓獲得該項專長證書，以配合年度神弓操演實彈射擊場景來規劃想定課目，供平日駐地訓練使用，以提升訓練成效。

三、強化幹部射場安全規範認知教育

（一）教育方面：為強化幹部對射場安全規範的認知，於射手集訓期間，參演單位擔任安全軍官（RSO）之人員，以一週的訓期授予安全規範的認知教育，並提供刺針飛彈實彈射擊參數與射擊優化指導、歷年刺針射擊之故障處置以及圖上陣地配置說明為輔助教材，以建立安全防險觀念及落實各項安全管制工作與各設施安全配置等作業。另於進駐九鵬訓場後（射場組合訓練階段），再集合安全軍官人員，以現地實況結合安全規範，強化靶場配置安全認知。

(二) 經驗傳承方面：於駐地輔訪階段，查驗歷年參與神弓操演擔任安全軍官(RSO)人員之管制狀況，並建立經驗移交清冊，以供部隊銜接訓練使用。

四、落實系統檢測、完善射擊整備

復仇者防空部隊於平日駐地實施追瞄訓練，在每次射手就位時，均應落實系統檢測程序與接戰設定，同時掛載電子訓練彈，藉由重置飛彈電流斷路器，仿真檢視射手控制面板燈號，聽取飛彈音頻聲調，以判定系統完成模擬實彈射擊(追瞄訓練)前之整備。

五、射擊模式多元化，增強射手接戰反應

(一) 接戰靶彈方面：為符合戰場景況，同時磨練射手對於短時間接戰、高強度戰場心理抗壓能力，規劃於射擊場地週邊，勘選多處靶彈發射陣地，採異地、改變角度與方向路徑等方式發射靶標，使射手可因應不同狀況實施追瞄射擊，並規劃於波次內射擊順序採臨機決定，使射手可透過臨機目標交付，強化目標搜索、追瞄及射擊穩定性，以提升射手接戰能力。此外考量刺針飛彈年度訓量一年比一年增加，而核定的實彈射擊時間(天數)與場地有限，復仇者飛彈系統應可安排一個射擊波次之行進間射擊與遠端遙控射擊，以利收集射擊參數，提供未來實彈規劃運用。

(二) 指管交付接戰靶機方面：蜂眼指管分配目標交付給復仇者行射向自動指引的目的在於讓武器系統縮短搜索空中目標之時間，提早轉向目標指向以完成接戰準備，單位無需再次等待目標飛至接戰範圍再執行射向自動指引來接戰，故為有效提昇接戰反應，復仇者飛彈系統一旦接獲蜂眼指管交付目標指令，應立即執行射向自動指引動作，以利在更早時間之時間點完成接戰準備或有利增加再次(第二枚)接戰的可能性。

六、廣續延壽計畫、確維作戰能量

建議陸勤部可針對陸軍刺針飛彈，函請原廠於飛彈逾屆壽時，來臺評估庫儲環境、飛彈儲存狀況，並運用三級測臺執行飛彈檢測，或依「飛彈儲存可靠度計畫」(SRP)，進行破壞性檢測評估後續使用效益，以確認飛彈延壽使用有效期限。

結語

復仇者飛彈系統所使用的刺針飛彈能有效對抗各式航空器與 UAV 無人機等之小型目標，更能抵制航空器推層出新的反制手段，雖然防空涵蓋範圍有限，但確實為我眾多防空武器當中的最後防線(last-ditch)，¹¹以嚴格仿真訓練創造

¹¹ 楊培毅，〈從野戰防空之人攜式防空武器系統 戰史中研析航空器紅外線特性〉《砲兵季刊》(臺南)，第 162 期，民國 102 年 9 月，頁 66。

勝戰有利條件，如同軍事訓練本身一樣久遠，¹²而在國軍自 90 年成軍起開始訓練、執行實彈演訓任務，每年的射擊參數蒐整、每次的檢討精進，已經達到高效命中率，未來若在競爭激烈的作戰環境中發生武裝衝突事件，且需要各類防空武器支援時，那麼復仇者防空部隊就得成為一支完訓、備戰、可靠且反應迅速的戰力。

參考文獻

- 一、游凱翔，〈中央社新聞〉〈共機頻擾台，空軍 24 天內出動 373 架次對應〉，<https://www.cna.com.tw/news/firstnews/202010220201.aspx>。(2020/10/22)
- 二、軍聞社記者黃劭恩〈國防部即時軍事動態〉，〈共機再度進入西南空域，空軍巡邏兵力應對飛彈追監〉，<http://www.gpwd.mnd.mil.tw/Publish.aspx?p=75535>。(2020/11/11)
- 三、蔡文玲，〈東森新聞〉〈不畏戰，不求戰〉，<http://www.ettoday.net/news/20201010/1828273.htm>。(2020/10/10)
- 四、洪安妮、謝志淵，〈2019 沙烏地阿拉伯油田遭無人機空擊事件研究〉《陸軍學術雙月刊》(桃園)，第 56 卷 573 期，2019 年 10 月 1 日，頁 46。
- 五、楊培毅，〈提升刺針飛彈接戰靶彈射擊成效之研析〉《砲兵季刊》，第 173 期，民國 105 年 6 月 27 日。
- 六、陳舜協，〈聯合新聞網〉〈臺灣須從納卡戰爭獲得啟示〉，<https://udn.com/news/story/6844/5066591>。(2020/12/07)。
- 七、《復仇者飛彈系統操作手冊(第二版)》，(桃園：國防部陸軍司令部，民國 99 年 11 月 10 日)。
- 八、《復仇者飛彈系統桌上型訓練模擬器教學手冊》(桃園：國防部陸軍司令部，民國 96 年 10 月 02 日)。
- 九、楊培毅，〈從野戰防空之人攜式防空武器系統戰史中研析航空器紅外線特性〉，《陸軍砲兵季刊》(臺南)，第 162 期，民國 102 年 9 月。
- 十、周敦彥譯，〈蓄勢待發：防空部隊如何完成大規模地面作戰準備〉，《國防譯粹》(臺北)，第 47 卷第 12 期，民國 109 年 12 月。

作者簡介

楊培毅士官長，85 年入伍，由義務役士兵轉服自願役士官，86 年領導士官班 5 期，89 年野砲士高班 8 期，92 年士官長正規班 23 期，93 年英語儲備訓練班，94 年美國復仇者飛彈系統保修班，遠東科技大學應用外語系學士，現任職於陸軍砲兵訓練指揮部防空教官組野戰防空小組。

¹² 周敦彥譯，〈蓄勢待發：防空部隊如何完成大規模地面作戰準備〉《國防譯粹》(臺北)，第 47 卷第 12 期，民國 109 年 12 月，頁 29-30。

Dense Urban Environments: The Crucible of Multi-Domain Operations

多領域作戰在城鎮區之考驗

取材：美國《軍事評論》雙月刊，2021 年 1-2 月號

(Military Review, January-February 2021)

作者：美國西點軍校 Richard Wolfel 教授等人

譯者：劉宗翰

前言

Multi-domain operations (MDO) and dense urban operations are two significant topics in contemporary Army research. While researchers have looked at these topics in isolation, very little research has been done to demonstrate the challenges and benefits of adopting an MDO mindset in a dense urban environment. The dense urban environment provides many of the challenges identified in MDO research in a compact and rapidly changing space. Given the importance of cities in contemporary states, it is important to look at how MDO thinking and research on dense urban areas can mutually inform and provide insights. Dense urban areas and MDO intersect in three key areas: (1) the concepts of layers and convergence, (2) the definition of victory, and (3) the growth of the battlefield. Further, analysis of these intersections can illuminate the character of conflict in large dense urban regions.

多領域作戰與城鎮戰是當代美國陸軍研究的兩個重要主題，惟研究者都分別看待這兩個議題，也很少有研究文獻指出在城鎮環境中運用多領域作戰思維之利弊得失。城鎮環境之特徵為人口稠密與地貌持續變化，這對於多領域作戰研究構成諸多挑戰。鑒於城鎮在當代國家中的重要性，檢視多領域作戰思維如何運用於城鎮環境也同等重要，本文希冀藉此提出可供參考之見解。城鎮區與多領域作戰在三個部分有所交集：（一）分層與聚合構想；（二）對勝利的界定；（三）戰場的成長變化。此外，分析這些交集可以找出這些大部分城鎮區發生衝突的特徵。

MDO in the Contemporary Operating Environment

多領域作戰在當代作戰環境

MDO represents the next evolution of joint operations thinking and is significant in that it views the battlespace as extending beyond traditional conceptions to include discussions of cultural, political, and economic factors present in the region. The U.S. Army Training and Doctrine Command (TRADOC) emphasizes that MDO is a “layered standoff,” in that the operations must consider multiple spatial, political, economic, social, military, and cultural layers, amongst many others.¹ This fundamentally changes the way we view areas of operations (AO) and areas of responsibility. Gen. Robert Brown emphasizes the importance of the economic and demographic complexities of the Indo-Asia Pacific area of responsibility in his analysis of MDO.² TRADOC sums this up by emphasizing that multi-domain formations must be able to “access and employ capabilities across all domains.”³ The modern battlefield not only extends beyond the military domain into the human domain, but it also will shift scales from global to local and most layers in between. Also, these scales and domains are never fixed but are constantly changing as conditions evolve.

多領域作戰代表的是聯合作戰思維的下一代演進，重要性在於其跳脫傳統構想的戰場空間觀點，並涵蓋區域內文化、政治及經濟要素之討論。美陸軍訓練暨準則司令部（下稱訓準部）強調多領域作戰是「分層對峙」，所以作戰行動必須考慮眾多空間、政治、經濟、社會、軍事及文化等各層面因素。¹這種想法澈底改變以往作戰區與責任區的認知觀點。誠如羅伯特·布朗上將在論及多領域作戰分析作為時，強調印太責任區的經濟重要性與人口組成的複雜度。²訓準部在多領域作戰手冊中也強調多領域作戰編隊必須有能力進入敵區並部署各種跨領域能力。³現代戰場已從軍事領域擴及至人文領域，衝突將從全球規模轉變成區域規模，同時各種層面因素將位居其間。此外，這些規模與領域並非一陳不變，而是隨著情勢不斷變化演進。

TRADOC identifies this continuous evolution of scales and domains as

¹ U.S. Army Training and Doctrine Command (TRADOC) Pamphlet (TP) 525-3-1, *The U.S. Army in Multi-Domain Operations 2028* (Fort Eustis, VA: TRADOC, 6 December 2018), viii–x.

² Robert B. Brown, “The Indo-Asia Pacific and the Multi-Domain Battle Concept,” *Military Review* 97, no. 5 (2017): 15, accessed 20 October 2020, https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/military-review/Archives/English/BROWN_PRINT_The_Indo_Asia_Pacific.pdf.

³ TP 525-3-1, *The U.S. Army in Multi-Domain Operations 2028*, iii.

convergence, where “multi-domain formations possess the capacity, endurance and capability to access and employ capabilities across all domains to pose multiple and compounding dilemmas on the adversary.”⁴ Daniel Kull emphasizes nonlinearity as the standard of warfare.⁵ In other words, operations are constantly changing, sometimes in an unpredictable manner. Lt. Gen. Gary Volesky and Maj. Gen. Roger Noble expand on the evolution, convergence, and nonlinearity of domains and scale through their observation that “cyber and human domains are not limited by space or time.”⁶ One concept that remains constant is the need to seize the initiative; in this case, working in the domain(s) and/or scale(s) that best sets the conditions for success.

訓準部認為戰事規模與各領域的持續進展將形成聚合現象，因此多領域作戰編隊需擁有可以進入敵方的各式能量、能力及持續力，同時運用跨領域的各種能力，俾利向敵製造多重複雜難題。⁴誠如丹尼爾·庫爾所言，戰爭標準是非線性發展。⁵換言之，作戰方式是不斷改變，有時候是難以預測。格里·沃斯基中將與羅格·諾貝爾少將兩人透過自身觀察對這些規模與領域的演進、聚合及非線性發展進行說明，其中網路領域與人文領域是不受空間與時間限制。⁶由於奪取主動權這個概念是持續不變的，因此在這些規模與領域的經營將是致勝的基石。

While the United States seeks to seize the domain and scale initiative in modern operations, foreign adversaries are quite adept at challenging its efforts. Based on recent U.S. superiority in combat operations, near-peer states seek to compete at a level below armed conflict, or as TRADOC terms it, “win without fighting.”⁷ Jeffrey Reilly identifies an example of this “win without fighting” concept in his discussion of Chinese authors who advocate going beyond traditional boundaries of warfare to achieve national political objectives by suggesting the use of financial attacks or a virus to bring down the electric network.⁸ George Fust emphasizes that these layered standoffs in

⁴ Ibid.

⁵ Daniel J. Kull, “The Myopic Muddle of the Army’s Operations Doctrine,” *Military Review* (Online Exclusive, 2017), 3, accessed 8 September 2020, <https://www.armyupress.army.mil/Journals/Military-Review/Online-Exclusive/2017-Online-Exclusive-Articles/Myopic-Muddle-of-Army-Ops-Doctrine/>.

⁶ Gary Volesky and Roger Noble, “Theater Land Operations: Relevant Observations and Lessons from the Combined Joint Land Force Experience in Iraq,” *Military Review* 97, no. 5 (2017): 22, accessed 20 October 2020, https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/military-review/Archives/English/VOLESKY_Theater_Land_Operations.pdf.

political, economic, and military realms seek to separate the United States from allies.⁹ Gen. Stephen Townsend, in his review of the National Defense Strategy, highlights the importance of winning the competition before and after conflict.¹⁰ All of these examples emphasize the importance of adopting an expanded view of conflict, one that includes various domains and scales which are constantly evolving as a result of actions on all sides of a conflict or operation.

美國希冀在現代作戰行動中奪取各戰事與各領域的主動權，惟外來敵人十分擅長挑戰美國的作為。鑒於美國在戰鬥行動的優勢地位，實力匹敵者往往以低程度武裝衝突方式與美國競爭，這種方式就是訓準部指出的「不戰而屈人之兵」。⁷傑佛瑞·雷利舉例說明「不戰而屈人之兵」的概念，這部分是在他對於中共學者的討論，這些人提倡要跳脫傳統戰爭的框架，才能達成國家政治目標，建議作法是運用財政攻勢或是在電子網路植入病毒。⁸喬治·福斯特強調這些在政治、經濟及軍事範疇的層層攻勢，意在分化美國及其盟邦。⁹史蒂芬·湯森德上將在他對《國防戰略》報告的評論中強調，在衝突前與衝突後贏得競爭優勢至關重要。¹⁰上述觀點凸顯採取對衝突更寬廣視野之重要性，因為在戰事規模與各領域持續演進下，各方的衝突或作戰行動將出現不同面向。

Dense urban areas represent one of the most complex operational environments due to the coalescence of various domains and scales. Here, the contest to control scale and domain plays out in a relatively small region, with a very dense and complex population. It is in dense urban areas where the challenges of MDO reach their zenith and where complexity is fluid and rapid, both in a spatial and temporal sense.

城鎮區是最複雜的作戰環境之一，原因在於其為不同戰事規模與各領域的匯集處，不僅人口稠密且組成複雜，而且控制權之爭限縮在相對較小的區域。城鎮區對於執行多領域作戰構成嚴峻挑戰，因為複雜情勢的時空因素詭譎多變。

⁷ TP 525-3-1, *The U.S. Army in Multi-Domain Operations 2028*, vii.

⁸ Jeffrey M. Reilly, *Multidomain Operations: A Subtle but Significant Transition in Military Thought* (Maxwell Air Force Base, AL: Air Force Research Institute, 2016), 66.

⁹ George Fust, "Multi-Domain Operations, Bad for Civil-Military Relations?," *RealClearDefense*, 8 August 2019, accessed 8 September 2020, https://www.realcleardefense.com/articles/2019/08/08/multi-domain_operations_bad_for_civil-military_relations_114650.html.

¹⁰ Stephen Townsend, "Accelerating Multi-Domain Operations: Evolution of an Idea," *Military Review* (Online Exclusive, 2018), 3, accessed 8 September 2020, <https://www.armyupress.army.mil/Journals/Military-Review/Online-Exclusive/2018-OLE/Aug/Accelerating-MD/>.

The Wicked Complex Environment of Dense Urban Areas

城鎮區錯綜複雜的環境

Today, the majority of the world's population live in cities. Most of the key elements of societies including economic, social, political, and cultural structures are more focused on urban areas than in any other period of history. Therefore, as we study places, it is essential to understand the key cities of the region.

當前大部分的世界人口都居住於城市。社會的大部分關鍵因素，如經濟、社會、政治及文化等架構往往集中於城鎮區，這種情況比以往更為常見。因此，在研究某處時的重點在於理解該地區內的關鍵城市。

What makes dense urban spaces complex? The size, density, and social elements of a city create a complex and changing environment. Cities are continuously changing and are influenced by human activities as humans strive to understand and influence activities within them. The city is a dense and diverse settlement with a dynamic population. While certain characteristics exist in many cities, the way these characteristics influence specific cities is unique. Dense urban areas are also highly interconnected internally and to the rest of the world. All this complexity creates a challenging set of problems for an urban analyst to consider. First, what are the critical factors that influence the evolution of cities? Once these factors are identified and defined, how do analysts measure and model those factors? Finally, how do the factors interact to create a series of systems that influence how a city functions?

至於是何種原因讓城鎮區的空間如此複雜？答案是一個城市的大小、稠密度及社會因素造就了一個複雜且不斷變化的環境。城市之所以不斷持續變化是因為受人文活動影響，而這些活動是在人的理解與影響下進行。城市是一個稠密且多元的定居地，人口呈現動態變化。各個城市有其特色，這些特色也造就出各個城市的獨一無二，至於世界各地城鎮區的內部也是高度相互連結。上述種種情況構成一系列挑戰性的問題，也是從事城鎮分析者所必須思索的。首先，影響城市演進的關鍵因素為何？接著，一旦這些原因被找出並界定後，分析者如何衡量與推演那些因素？最後，這些因素在互動之下所造就一系列體系將如何影響一個城市運作？

To identify the important factors to consider when operating in a dense urban area, a conceptual model is needed to organize analysis. Richard

Wolfel, Amy Richmond, and Peter Grazaitis adopted Leonard Binder's model of political development to conceptualize functions in a city.¹¹ Binder identifies five categories of political development, and Joseph LaPalombara and William Fierman later added allocation.¹² While many other networks are also important to dense urban regions analysts, the focus here is on the sociocultural systems due to their complexity. The six categories all provide insight into TRADOC's conception of MDO and how the thinking surrounding MDO helps explain operations in dense urban terrains.

當吾人在城鎮區遂行任務時，須將一些重要因素納入考量，於是一個概念性模式在從事分析時不可或缺。理查·沃菲爾、艾咪·里奇蒙以及彼得·格瑞宰提斯等人採用政治學者李奧納德·賓德的政治發展模式，使一個城市的運作功能得以概念化。¹¹賓德界定出政治發展的五項分類，其後的約瑟夫·拉帕隆巴拉、威廉·費爾曼等人又再加上「配置」之分類。¹²雖然許多其他網絡因素對從事城鎮的分析者也同樣重要，但本文著重於社會文化體系的複雜面向。以下所列六項分類之見解可為訓準部的多領域作戰構想所用，而且在多領域作戰的發想有助於在城鎮區的戰場經營。

1. Production. Production refers to the manufacturing of commodities. In cities, labor can be divided into two categories, formal and informal. However, the informal and formal sectors of cities are often so intertwined that it is impossible to separate them. The formal sector of the economy is regulated, mostly through laws and taxes, by the government. Traditionally, informal activities are the dominant forms of employment in slum settlements and are governed by informal leadership structures.

一、生產。生產意指產製各項產品。在城市中，勞工可以區分正式與非正式兩類；然而，城市內各部門由於彼此交織在一起，若要將之區別正式與非正式是困難的。正式的經濟部門依規範行事，常見的法律與納稅事務是由政府機關負責。一般而言，貧民區的顯著特徵為充斥著非正式活動，而非正式領導架構為其治理方式。

2. Allocation. Allocation is the process of distributing goods and services

¹¹ Richard L. Wolfel, Amy Richmond, and Peter Grazaitis, "Seeing the Forest through the Trees: Sociocultural Factors of Dense Urban Spaces," *Urban Science* 1, no. 4 (2017), <https://doi.org/10.3390/urbansci1040040>.

¹² Joseph La Palombara, "Distribution: A Crisis of Resource Management," in *Crises and Sequences in Political Development*, ed. Leonard Binder and Joseph La Palombara (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2016), 233; William Fierman, *Language Planning and National Development: The Uzbek Experience* (Berlin: Mouton de Gruyter, 1991), 6.

through society. In urban areas, there are many allocated goods including land, food, water, and medicine, among others. Allocation has an important influence on the legitimacy of a government as insurgencies and antigovernment movements often grow in regions where people struggle getting basic needs from the government and rely on other sources for the provision of those basic needs. Often, insurgent organizations use their ability to provide goods as a method of gaining loyalty and legitimacy within a dense urban region.

二、**配置**。配置是在社會上分配物品與服務的過程。在城鎮區配置物品的例子是土地、食物、水及藥品等。配置是一個政府合法性的重要影響因素，區域內叛亂份子及反政府活動之發起，通常是因為人民無法透過正常管道從政府身上獲得日常生活必需品，因此訴諸這種抗爭方式。常見的情況是，叛亂組織在城鎮區會盡其所能提供人民物品，藉此獲得他們的效忠並使自身行為合法性。

3. Identity. In dense urban areas, groups who share an identity based on ethnic, linguistic, religious, or other shared beliefs or attributes tend to live in organized communities in certain neighborhoods of the city.

三、**認同**。在城鎮區內，各個團體的認同是基於種族、語言、宗教，至於另一些團體是的認同則是基於共同信念或歸屬，這些人往往生活在城市特定郊區內的有組織社區。

4. Legitimacy. If a population believes that the government is legitimate, it is likely to follow the laws of society. At the most basic level, legitimacy is forged when a government provides for the basic needs of its population. When those needs are not provided for, then the population will look for other leaders.

四、**合法性**。只要政府合法性能獲得人民信任，則規範社會的法律自然也會被遵守。以最基本層面而言，合法性之建立來自於政府提供人民基本必需品。一旦無法滿足這些基本需求，則人民會轉而尋求其他領導者。

5. Political participation. Political participation can run the full spectrum from traditional methods that include voting to violent actions against the government. In many cities, the most common methods for participating in politics can be significantly limited. As a result, people seek to find alternative methods of political participation.

五、**政治參與**。政治參與的範圍可以從傳統投票方式，乃至發動暴力行動

對抗政府。在許多城市案例中，最常見參與政治的方法若受到大幅限制，則人民往往會尋求政治參與的替代方法。

6. Political penetration. Political penetration refers to how much effective control the government exercises. This is also seen in the ability of the government to implement programs in a specific area. Examples of this include formal law enforcement activities within a region, monuments promoting the national identity of the leadership, and urban redevelopment programs that often include slum clearance. In informal urban areas, political penetration is often minimal if the slum does not gain the attention of the government. However, as development increases in many cities, slums are often the target of destruction in the name of development. This represents the most extreme method of political penetration in a slum environment. In typical slum communities, the informal leadership has the most control.

六、政治滲透。政治滲透是指政府如何遂行有效控制。吾人可以從政府是否有能力在特定領域執行計畫來觀察，相關案例如在某區域的正式執法活動、傳承忠於領袖的國家認同，以及貧民區淨空的都市更新計畫。至於在非正規規模的城鎮區，政治滲透率多寡取決於貧民區是否獲得政府之關注。然而，許多城市的日益發展，貧民區往往在發展的名義下淪為犧牲者，這種情況可說是最極端的政治滲透方式。在傳統的貧民區，非正式領袖最有號召力。

These six elements function differently depending on the characteristics of a specific city. All elements of the framework are not exclusive but influence each other. They are multispatial and multidisciplinary. The goal is not to be reductionist but to highlight how these elements inform analysis of a city.

這六項元素各有其作用，端視特定城市的特徵而定，各個因素之間並非各自獨立而是相互影響，同時涉及各種不同空間及多門學科領域。提出六項元素之目的不是為了要做出簡化論點，反而是要凸顯這些元素如何形成對一個城市之分析內涵。

MDO in Dense Urban Environments: The Connections

多領域作戰與城鎮環境之連結

As urban centers become more important, it is essential that doctrine is reviewed to ensure that people are prepared for operations in large cities. In concert with the rise in the importance of cities, the importance of MDO cannot be understated. With the importance of both dense urban areas as future

operating environments and MDO as a cornerstone doctrine, it is important to review linkages between the future operating environment and evolving doctrine. There are three key intersections between dense urban areas and MDO that help provide some insight on what operations would look like in large dense urban regions.

隨著城鎮區中心重要性與日俱增，當務之急是審視準則內容是否足以讓官兵做好準備在大量城市環境中執行作戰任務，於此同時，多領域作戰在城鎮區的重要性為人所忽略。鑒於城鎮區將成為未來作戰環境以及多領域作戰將成為準則的核心思想，檢視未來作戰環境與持續發展準則之間的鏈結至關重要。以下列出城鎮區與多領域作戰之間的三項關鍵交集，希冀描繪出在城鎮區內眾多作戰行動將遭遇的場景。

Intersection 1: Layers and convergence. First, TRADOC refers to MDO as a layered standoff. It would be difficult to find an environment with more layers than a city.¹³ Dense urban areas include multiple levels, from subterranean through the surface to above ground, and both in buildings and in aerial technology (drones, planes, etc.). Beyond the physical layers of the city, there are also significant amounts of human geography layers that exist in the city. From economic to political to cultural, cities are a complex combination of frameworks that influence the functioning of the city.

交集一：分層與聚合構想。首先，訓準部界定多領域作戰是「分層對峙」，城市的多層面環境是其他地方無法比擬的。¹³城鎮區涵蓋從地下、地面及地面以上多層空間，各式建築物林立以及如飛機、無人機等飛行器穿梭其中。城市除了實體層面之外，還有重要的人文地理層面位居其間，範圍從經濟、政治乃至文化，因此其為一個複雜的結合體架構，各種層面影響著本身的運作。

Identity is one of the key themes that begins to shed light on the complexities of the layers of the city. One example of how identity influences a dense urban region is the creation and perpetuation of migrant communities and transnational identities. Victoria Lawson describes transnationalism as “the extent to which migrants maintain plural identities and experience complex relations of incorporation and resistance to projects of globalized modernization, urban progress, national belonging.”¹⁴ This concept of transnationalism is critical as migrants navigate new influences on their sense

¹³ TP 525-3-1, *The U.S. Army in Multi-Domain Operations 2028*, iii.

of identity and reexamine their sense of belonging, exclusion, and affiliation.¹⁵ The process of transnationalism shows the complexity an individual faces as various networks are all intertwined to influence a person's experience in a city.

要剖析城市的複雜層面，最佳起始點就是從認同這個重要議題開始。認同如何影響城鎮區的案例之一，就是移民社區的創造、延續以及跨國認同。維多利亞·勞森將「跨國主義」描述為「移民者維持著多元認同的程度、歷經複雜融合關係的程度，以及對全球化的現代化、城鎮發展和國家歸屬的抗拒程度。」¹⁴這種跨國主義概念之所以重要，是因為移民者開始施展新的影響力在其認同感，同時也重新檢視歸屬感、排外性及從屬關係。¹⁵跨國主義的過程顯示個人面臨各種不同網絡的複雜度，它們彼此糾結在一起並影響一個人在城市的歷程。

TRADOC also emphasizes that multi-domain formations must be able to “access and employ capabilities across all domains.”¹⁶ Traditionally, the Army has looked to multiple physical domains (e.g., subterranean, surface, and sky). However, in the modern dense urban environment, this extends to multiple layers of human geography operating in a city. This extension brings a renewed emphasis on intelligence, civil affairs, host-nation counterparts, regional experts, reach-back capabilities, and a commander who is not necessarily an expert on the specific AO but has a well-developed sense of general knowledge to ask the right questions of the right experts.

訓準部也強調多領域作戰編隊必須有能力進入敵區並運用各種領域的能力。¹⁶傳統上，美陸軍只看到如地下、地面及天空等這些層面的領域；然而，在現代的城鎮區環境，城市中的各層面領域要擴及至人文地理。鑒於此種延伸性，必須重新強調情報、民事、地主國對口單位、區域專家，以及從後方即時取得經分析有用資訊之能力等事項，儘管指揮官並不盡然是特定作戰區的專家，但適時培養通才知識，才能找到對的人問對的問題。

In addition to the various layers of an MDO, TRADOC stresses the convergence of these layers in a given area. TRADOC sees convergence as the “rapid and continuous integration of all domains across time space and capabilities.”¹⁷ Scale is never a given in any modern operation. Actors will

¹⁴ Victoria A. Lawson, “Arguments within Geographies of Movement: The Theoretical Potential of Migrants’ Stories,” *Progress in Human Geography* 24, no. 2 (2000): 173, <https://doi.org/10.1191%2F030913200672491184>; Wolfel, Richmond, and Grazaitis, “Seeing the Forest through the Trees,” 5.

¹⁵ Wolfel, Richmond, and Grazaitis, “Seeing the Forest through the Trees.”

¹⁶ TP 525-3-1, *The U.S. Army in Multi-Domain Operations 2028*, iii.

attempt to shape the operational environment to function at the level where they have the greatest influence. This is especially relevant in a city where multiple scales and geographies converge on a block-by-block basis. Hostile forces might use subterranean environments to shape the battlefield due to a perceived advantage there. This is countered by efforts to force hostile forces above ground into a decisive conflict on terms beneficial to friendly forces. This negotiation of space is one of the key competitions that will take place in any urban operation.

多領域作戰本身具有多層面的特性，訓準部也強調在特定地區這種多層面聚合的情況。訓準部說明聚合是「迅速並持續整合各領域所涵蓋的時空及能力。」¹⁷在任何現代的作戰中，無法預期戰爭的規模大小。行為者將試圖創造有利自身的作戰環境，並在其間發揮最大影響力。與一個城市密切相關的是，在街道林立的市區中，將出現多種戰事規模與地貌。由於敵軍認為地下環境具有優勢，可能將之用來形塑戰場態勢。至於反制方法就是迫使敵軍在地面上展開決定性衝突，以利我方爾後之行動。任何的城鎮戰中，空間爭奪將是關鍵的競爭領域。

In addition to the physical convergence of scales, there is also the convergence of human geographic frameworks that influence development within a region. Whether a government is viewed as legitimate, and therefore has the ability to have its message penetrate a local region, it is strongly influenced by its ability to allocate basic services within a region or if the local population believes it shares an identity with the government. In a large city, where populations are extremely diverse and provision of basic services is a complex operation, governments struggle to remain legitimate, often for reasons that are not transparent. The reasons are often hidden by the complexities of converging scales and geographies.

城鎮區除了各種戰事規模的實質聚合外，同時也有人文地理架構的聚合影響著該區域之發展。只要一國政府的合法性為人民所接受，政府就有能力在當地區域發揮言論影響力，但這種能力取決於其是否能在當地區域提供基本服務，或是當地人民是否對其有認同感。在大型城市中，由於人口組成多元與基本服務提供是一個複雜的運作過程，即便政府致力於維持合法性，但往往基於一些原因而無法達到透明公開。相較於複雜的戰事規模聚合與地貌，這些原因往往不為人所重視。

¹⁷ Ibid.

Intersection 2: What does victory look like? The changing nature of modern military operations has increased the difficulties in defining objectives and, as a result, defining success or victory. Near-peer states compete below armed conflict, what TRADOC refers to as winning “without fighting” or blurring the distinctions between below conflict and conflict.¹⁸ An example of winning without fighting is identified by Reilly in his review of Chinese authors who advocate going beyond traditional boundaries of warfare to achieve national political objectives to include financial attacks or a virus to bring down an electric network.¹⁹ Anthony Clas echoes these conclusions in his review of soft power and noopolitics, which is a political science concept referring to knowledge politics using media as a vehicle for knowledge dissemination.²⁰ He emphasizes soft power and noopolitics as tools to control the attitudes, opinions, and moral values of the general population. On the strategic level, Kull sees competition at the below conflict level as a method to control population or dominate terrain without a protracted, attritional campaign.²¹ Fust sees layered standoffs in the political, economic, and military realms as a key method to separate the United States from its allies.²²

交集二：何謂勝利？由於現代軍事作戰不斷改變的特徵，除了增加定義目標之難度外，也連帶影響對成功或勝利之定義。實力相近的國家從事低於武裝衝突門檻的競爭，這種情況如訓準部所說的「不戰而屈人之兵」，或是說讓衝突與未達衝突之間的分界模糊化。¹⁸雷利列舉他審視中共學者的例子來說明「不戰而屈人之兵」渠等提倡要跳脫傳統戰爭的框架，才能達成國家政治目標，作法是運用財政攻勢或是在電子網路植入病毒。¹⁹安東尼·克勞斯在其文章中審視軟實力與政治傳播時呼應這種觀點，至於政治傳播是一種政治學概念，意指運用媒體作為政治知識之傳播媒介。²⁰他強調軟實力與政治傳播為控制一般群眾態度、觀點及道德觀的工具。就戰略層面而言，庫爾認為未達衝突程度的競爭可以作為控制群眾的方法，或是作為佔領領土而不用面臨長期性、消耗性戰役的方法。²¹福斯特指出在政治、經濟及軍事範疇的層層攻勢，為分化美國及其盟邦的重要方法。²²

¹⁸ Ibid., vii.

¹⁹ Reilly, *Multidomain Operations*, 66.

²⁰ Anthony M. Clas, “Commanding in Multi-Domain Formations,” *Military Review* 98, no. 2 (2018): 92, accessed 20 October 2020, <https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/military-review/Archives/English/Clas-Commanding-Multi-Domain.pdf>.

²¹ Kull, “The Myopic Muddle of the Army’s Operations Doctrine,” 2.

²² Fust, “Multi-Domain Operations.”

In recent years, the United States has seen leaders declare success in an operation, only to see that perceived (or misinterpreted) success devolve into instability. This is the result of an AO that is no longer solely comprised of combatants but is now more of a spectrum of combatants to noncombatants, to varying levels in between, whose definition of success and security may differ from traditional military definitions. This mismatch of definitions is magnified in a dense urban environment, where people of differing identities, levels of participation, and goals live and act in close proximity, often overlapping. Understanding the vast differences in objectives between groups is a prudent point of departure for discussions of goals and achievement.

近幾年，美國所見的是領導者宣稱作戰成功，但這種認知上的成功(或是錯誤解讀)是立足未穩。這是因為現在的作戰區不再只有作戰人員，有愈來愈多非作戰人員位居其中各層級，這些人對於成功與安全的定義可能有別於傳統上的軍事定義。這種不相稱定義的情況逐漸在城鎮環境中擴大，而且城鎮區的人有不同認同、參與程度、生活目標，以及在彼此的活動往來頻繁。唯有理解這種團體成員目標的巨大分歧，才能以審慎態度對所望目標進行討論。

TRADOC raises an important question: “How does the joint force compete to enable the defeat of an adversary’s operations to destabilize a region, deter the escalation of violence, and should violence escalate, enable a rapid transition to armed conflict?”²³ Unpacking this question introduces some very complex problems that must be addressed in modern operations. In order to defeat an “adversary’s operations to destabilize a region,” one must understand how an adversary will seek to destabilize a region. This is often done with the human geography of a region.

訓準部提出一個重要問題：聯合部隊如何在競爭中擊敗敵破壞區域穩定的行動、嚇阻暴力升溫，以及如何因應一旦暴力升溫並迅速轉變為武裝衝突？²³欲解決這個問題，必須先處理在現代作戰行動中一些極為複雜的事務。為了要擊敗敵破壞區域穩定的行動，吾人必須知道敵將如何破壞區域穩定，這是在人文地理的區域往往要做的事。

Legitimacy is a key point of competition within a dense urban region. The lack of formal government involvement in slum communities creates a power vacuum that insurgent movements view as an opportunity to gain influence.

²³ TP 525-3-1, *The U.S. Army in Multi-Domain Operations 2028*, v.

As Conrad C. Crane emphasizes, “Based on their own definitions of legitimacy, the people of the contested region will decide the victor.”²⁴ This victor may or may not be the group that physically occupies the territory at the moment.

合法性是在城鎮區進行競爭的關鍵點。若缺少政府正式涉入貧民區事務將產生權力真空，叛亂活動將得以趁機而入。誠如康拉德·克萊恩所強調，「基於人們自身對合法性的定義，他們將在競爭區域內選出勝利者。」²⁴這個勝利者也許是、也許不是在當時實質佔領領土的團體。

In an environment of insurgency, the struggle is to be recognized as legitimate. Frank Ledwidge echoes this statement in his conclusion, “Complex insurgencies are powered by injustice” and “legitimacy is the main objective ... without the host nation achieving legitimacy, COIN cannot succeed.”²⁵ When a government does not provide basic needs for a place, typically, a group outside of the government will fill the void and provide those basic needs to gain legitimacy and potentially remove the power of the standing government.

在叛亂的環境中，吾人所要認知的是合法性之爭奪。法蘭克·萊德維奇在其研究中的結論呼應這種論述，「複雜的叛亂活動之力量來源是不公不義，因此主要目標是合法性……地主國必須擁有合法性，才能在反叛亂行動上獲致成功。」²⁵當一國政府無法對一地提供基本需求時，一般而言，政府外的某團體將填補這個空缺並提供那些基本需求，進而獲取合法性並潛在移除既有政府的權力。

Stuart Eizenstat, John Porter, and Jeremy Weinstein emphasize the importance of legitimacy in a discussion on development. To them, the “legitimacy gap” refers to the government’s need to “protect the basic rights and freedoms of its people, enforce the rule of law, and allow broad-based participation in the political process.”²⁶ This is paired with two other gaps identified by Eizenstat, Porter, and Weinstein: the “security gap,” where states act to provide safety and security to their citizens; and the “capacity gap,” where a country allocates basic services.²⁷ When governments do not address these gaps, their legitimacy declines.

²⁴ Conrad C. Crane, “Minting COIN, Principles and Imperatives for Combating Insurgency,” *Air Space Power Journal* 21, no. 4 (2007): 57, accessed 20 October 2020, https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Volume-21_Issue-1-4/2007_Vol21_No4.pdf.

²⁵ Frank Ledwidge, “Justice and Counter-Insurgency in Afghanistan: A Missing Link,” *The RUSI Journal* 154, no. 1 (2009): 6, <https://doi.org/10.1080/03071840902818530>.

斯圖亞特·艾森斯塔特、約翰·波特、傑里米·溫斯坦等人在討論關於發展時強調合法性的重要性。就渠等觀點而言，填補「合法性缺口」意指政府需要保障其人民的基本權利與自由、執行法律規範，以及允許人民廣泛參與與政治程序。²⁶上述三位學者還提出其他兩個缺口：一是「安全缺口」，國家需提供其人民安全與保障；二是「能力缺口」，國家需要分配基本服務。²⁷當政府無法填補這些缺口時，其合法性就會下降。

In a city, slum communities are often source regions for alternative sources of governance because basic needs and security of the local residents are often not met by the government; as a result, a legitimacy gap appears. In these gaps, insurgents often operate to foster volatility. In slum communities where populations are quite large and can approach one million, political legitimacy is an essential component of stability and ultimately, victory. Traditional concepts of victory, or achievement of the objectives of the operation, are clouded in cities. The physical occupation of space, which is challenging at best and more than likely impossible, may not even be the most important objective in an operation. This requires a multi-domain approach to thinking and defining objectives. While physical occupation might be important, the provision of basic needs, or a certain need, might be more important and will create a sense of legitimacy within the region. Understanding the nature of the region will help generate a greater level of success.

在城市中，貧民社區往往是另一種治理方式的地區，因為政府通常無法滿足該區居民的基本需求與安全；鑑此，就會產生合法性的缺口。在這些缺口之下，叛亂份子往往極為活躍。在貧民區的人口數往往十分龐大，有時可以達到一百萬人，所以政治合法性是維持穩定的基本要素，甚至是最終成敗關鍵。吾人往往無法理解在城市中勝利的傳統構想或是達成作戰目標之意涵。實質空間的佔領正備受挑戰且愈來愈不可能達成，甚至可能不會是作戰行動中最重要目標，因此吾人需要以多領域途徑去思考並界定目標。雖然實質佔領仍有其重要性，但提供基本需求或特定需求可能更為重要，如此一來還能在區域內創造合法性來源。唯有理解區域的本質為何，才能有助於創造更大的成功。

Intersection 3: The growth of the battlefield. One of the primary changes in modern military operations is the growth of the battlefield and the

²⁶ Stuart E. Eizenstat, John E. Porter, and Jeremy M. Weinstein, "Rebuilding Weak States," *Foreign Affairs* 84 (January-February 2005): 136, accessed 8 September 2020, <https://www.foreignaffairs.com/articles/2005-01-01/rebuilding-weak-states>.

²⁷ Ibid.

AO. No longer can the AO be delineated as a discrete line on a map. Modern technology has enabled connections to extend beyond a single region. Kull emphasizes that nonlinearity is now the standard of warfare.²⁸ The adversary will endeavor to strike a support area using a variety of means including, but not limited to, cyberattacks, information campaigns, terrorist actions, and traditional kinetic actions. Gen. David Perkins echoes this conclusion in his observation that hackers are looking to target dependents in the homeland.²⁹ Volesky and Noble succinctly explain the increased range of threats in their conclusion that cyber and human domains are not limited by space or time.³⁰

交集三：戰場的成長變化。現代軍事作戰主要變化之一，是戰場與作戰區的成長變化。作戰區將不再能以離散線在地圖上標示。現代科技所促成的連結性已超出單一區域範圍，誠如庫爾所言，戰爭標準是非線性發展。²⁸敵人將使用各式各樣手段打擊支援區，除了傳統動能軍事行動外，還有如網路攻擊、資訊戰役、恐怖攻擊行動等。前訓練部司令大衛·帕金斯上將在其觀察駭客尋找美國本土的獨立目標時呼應上述看法。²⁹沃斯基與諾貝爾兩位將軍認為網路與人文領域不受時間與空間所限制，正是造成威脅逐漸擴大的主要原因。³⁰

This increase in the size of the AO has substantial impacts on mission planning. The effect of linkages, facilitated by globalization, advances in communication technology, including social media and traditional media access, represents a shift of geographical scale that challenges the conventional concept of a distinctive operational environment (OE) that can be isolated for analysis at a local scale. Modern regions exist in multiple scales from local actions to global decisions that impact local citizens. In terms of modern military operations, actions at the smallest scale, even down to the scale of the individual soldier, have potential strategic impacts at the theater or even global level. These interactions across scales must part of any analysis of a dense urban region.

作戰區範圍之擴大已實質影響任務規劃。由於全球化以及如社群媒體與傳統媒體管道等傳播科技的進步，形成一股鏈結，這意味著地緣規模之轉變，將挑戰以往既定作戰環境的傳統構想：在區域規模下單獨做分析。現代區域存在

²⁸ Kull, "The Myopic Muddle of the Army's Operations Doctrine," 3.

²⁹ David G. Perkins, "Multi-Domain Battle: Driving Change to Win in the Future," *Military Review* 97, n o. 4 (2017): 11, accessed 20 October 2020, https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/military-review/Archives/English/MilitaryReview_20170831_PERKINS_Multi-domain_Battle.pdf.

³⁰ Volesky and Noble, "Theater Land Operations," 22.

多種規模，範圍從當地行動到全球性決策，這些都影響著當地居民。就現代軍事行動而言，即使是小規模的行動，甚至於小到單兵個人規模的程度，都有可能對對戰區產生戰略影響，甚至於引起全球規模的效應。在各個規模之間的互動情形必須納入城鎮區分析之考量。

In addition, the conventional notion of the AO and the OE is also challenged by the connectivity of the modern urban center. Cities are interconnected globally by many different mediums, including economics, culture, modern communication technology, and social media. While some Army doctrine does address cross-border threats, the influence of information is vastly different than military or paramilitary forces crossing a border and influencing an AO.³¹ Recent examples including the Arab Spring and the Occupy movements demonstrate that the ability to control information in the modern age is limited at best. Also, actors create virtual communities and shared ideologies using social media and modern communication/information dissemination techniques in an effort to gain influence in a region.³² These examples also show that as governments tried to restrict access to social media in an effort to slow the influence of social movements, those efforts to restrict access had the opposite effect and acted as a unifying force to bring together various disparate social movements under a common goal and created, or increased, a legitimacy gap.³³

此外，現代城鎮中心的連結性正挑戰著作戰區與作戰環境的傳統想法。各個城市的全球性連結透過許多不同的媒介，如經濟、文化、現代通訊科技及社群媒體。一些美陸軍的準則並無法有效處理跨界的威脅，資訊影響力截然不同於軍事或準軍事部隊跨越邊境後對作戰區產生的影響。³¹近期案例如阿拉伯之春和佔領運動，都顯示在當前的時代中，要完全控制資訊是難以達成。再者，當事人會創立網路虛擬社團，並運用社群媒體與現代通訊/資訊傳播方式來分享其理念，進而在區域建立影響力。³²這些案例也顯示政府為了減緩社會運動影響力而企圖限制使用社群媒體的種種作為，反倒會帶來負面效應，這使得一股凝聚力在共同目標下，將各種不同的社會運動聚集在一起，導致政府合法性消失殆

³¹ Army Techniques Publication 2-01.3, Intelligence Preparation of the Battlefield (Washington, DC: U.S. Government Publishing Office, 2019), 7-8.

³² Richard L. Wolfel et al., "It's in There: Rethinking (?) Intelligence Preparation of the Battlefield in Megacities/Dense Urban Areas," Small Wars Journal, accessed 19 October 2020, <http://smallwarsjournal.com/jrnl/art/it%E2%80%99s-in-there-rethinking-intelligence-preparation-of-the-battlefield-in-megacitiesdense-urb>.

盡。³³

International social movements demonstrate how political participation can impact actions in a dense urban environment, often from a great distance. In cities, where conventional methods of political participation are limited, people often look for alternative methods of participation. Participating in social movements is often one of the most common alternative methods of participation. While movements focus on local issues, the movements often have strong local motives that link to international issues and tend to be especially influential.

國際社會運動顯示政治參與影響城鎮環境的各種活動。在城市中，傳統的政治參與方法是有限制的，人們往往尋求其他參與的方法，其中最常見的替代方法就是參與社會運動。雖然這些運動聚焦於當地事務，但其較強烈的當地動機往往能進一步形成全球性議題，其影響力不容小覷。

Contemporary social movements developed through the rise of globalization and the embracing of new communication and social media technologies. Manuel Castells observes that the modern age of social movements is less about at regime change and more about exploring the “construction of meaning in people’s minds.”³⁴ New social movement theory emphasizes that modern movements are about smaller groups coming together to establish larger networks based on shared ideologies that are typically centered on a larger societal issue. Castells identifies the Arab Spring and the Occupy movements as two examples of contemporary social movements that brought together disparate groups around a societal issue.³⁵ Modern social movements are quite adept at the use of social media as a medium to organize. Castells refers to these as “networked social movements.”³⁶ While the internet provides a virtual location for meeting and planning, the movements are still required to occupy physical space in order to be noticed by other groups and the state.³⁷ The spaces occupied by social movements are essential to the success of the movement as the places are “charged with symbolic power of invading sites of state power or financial institutions.”³⁸ These “occupied” spaces also create a space for debate and

³³ Manuel Castells, *Networks of Outrage and Hope: Social Movements in the Internet Age* (New York: John Wiley & Sons, 2015), 62.

involvement in the political process.³⁹ It is in these occupied locations that social movements shift from ideology to action.

當代社會運動之發展搭著全球化崛起浪潮，同時運用新的通訊技術與社群媒體。曼威·柯司特提出自身觀察，現代的社會運動主要訴求不在政權轉移，而是更著重於探討「建構人想法的意義」。³⁴新社會運動理論強調，現代運動是關於各個較小團體基於共同理念聚在一起而形成的大型網路，通常是著重於較大的社會議題。柯司特認為阿拉伯之春與佔領運動是當代社會運動的兩個實例，讓不同團體為一個社會議題共同努力。³⁵現代社會運動善於使用社群媒體作為籌織的媒介，因此柯司特將之稱為「網狀化的社會運動」。³⁶網路提供一個虛擬場所供開會與規劃使用，這些運動為了引起其他團體與國家之注意，仍需要佔領實質空間。³⁷社會運動的空間佔領是該場運動成功與否的要素，因為這些地方是權力的象徵，代表入侵國家權力之地或財務機關。³⁸這些被佔領空間也創造一個發聲與參與政治程序的空間。³⁹正因為有這些被佔領空間，社會運動才能從理念轉為行動。

One important lesson we must learn from the Arab Spring and the Occupy movements is that traditional conceptions of boundaries no longer exclusively define political participation. These movements extend far beyond traditional definitions of the battlefield, the AO, or the OE. Therefore, as we plan for operations in dense urban areas, it is essential that we consider the impact of actions on wider communities beyond the traditional boundaries we have seen in the past. The actions in one area could embolden actors in a completely different region.

我們必須從阿拉伯之春與佔領運動事件中學習一個重要教訓，意即傳統邊界的構想已無法完全定義政治的參與。這些運動之延伸已遠超過傳統的戰場、作戰區及作戰環境之定義。因此，我們在城鎮區所規劃的作戰，重要的是要思考作戰行動對廣大社區之影響，已不同於以往所認定的傳統邊界。在一個區域所發起的行動，甚至能激勵另一個不同區域的行為者。

Conclusion

結論

The sheer influence of dense urban areas in terms of demography,

³⁴ Ibid.

³⁵ Ibid., xiv.

³⁶ Ibid., 2.

³⁷ Ibid.

³⁸ Ibid.

³⁹ Ibid., 11.

culture, economics, and politics requires the Army to prepare to operate in cities. The wicked complexity of urban regions requires any operation to be multidomain. The basic tenets of MDO add insight into operations in a dense urban region. When the key notions of MDO are mapped against a framework for dense urban analysis, the intersections that result provide critical insights that commanders must address when operating in a dense urban environment.

城鎮區的重要影響因素是人口、文化、經濟及政治，這些是美陸軍在城市進行作戰時需事先經營。為因應城鎮區的惡劣複雜環境，多領域的作戰行動不可或缺。本文呼籲要在多領域作戰基本信念的基礎上予以擴充，使之能運用於城鎮戰的作戰行動。只要多領域作戰的概念形成可供城鎮區分析的參考架構，同時在兩者交互激盪下，將形成指揮官在面對城鎮環境時所需的寶貴意見。

First, cities are multiscale. This includes both physical and human geographies. Operations will occur at subterranean, surface, and above surface layers. In addition, operations will be influenced by the economics (production and allocation), politics (penetration, participation, and legitimacy), and cultural (identity) geographies that exist within a tightly packed, dense urban region.

首先，城市是多重規模的，包含實體建築與人文地理。作戰行動發生於地下、地上及地面上各個層面。此外，作戰行動還受到經濟（生產與分配）、政治（滲透、參與及合法性）、文化（認同）地緣因素影響，這些因素在城鎮區內彼此交織連結。

Second, the definition of success is another challenge in modern operations, especially in cities. No longer is victory defined as defeating an adversary force on the battlefield. Modern conflict occurs at various levels, and often adversaries will seek to contest the competition at the level that serves them best. Often this becomes a competition of legitimacy in which various actors seek to influence the local population. This is commonly seen as an insurgency/counterinsurgency operation within a dense urban area. The view of legitimacy has an impact on both the ability of a government to push its message to the local population (political penetration) and the local population's participation in local politics.

其次，在現代作戰行動中，定義成功是另一項挑戰。勝利不再被定義成在

戰場上擊敗敵軍。現代的衝突發生在不同層面，而且敵人往往在對其最有利的層面從事競爭。最常見的情況是演變成合法性之爭，不同行為者會設法對當地人民施展影響力，尤其在城鎮區的叛亂/反叛亂行動中最常發生。合法性的影響力在於政府是否有能力使其訊息為當地人民所接受(政治滲透力)，以及當地人民對當地政治的參與程度。

Finally, the size of the AO has substantially increased in the modern era. The rise of modern communications, especially social media, is especially significant as information flows between an urban center and regions that are not close to the city. Also, attempts to seize control of modern technologies (e.g., cell networks and the internet) often have the opposite effect as intended. Rather than bringing an oppositional force under control, it often emboldens the force and extends its influence and creates sympathetic support in formerly neutral or allied forces as its daily patterns are disrupted by the loss of connectivity. This was especially visible during the Arab Spring protests in Egypt.

最後，作戰區規模在當前世代已有實質性擴大。如社群媒體等現代通訊技術的興起，尤其使城鎮中心及其周邊郊區的資訊大幅流通。此外，任何企圖控制現代科技(如群組網絡與網際網路)的各項作為，往往適得其反。雖然在控制下可以破壞日常的連結模式，但反而會帶來一股反抗力量，更增添這股力量的影響力，進而獲取先前是中立或盟友的同情支持。在埃及發生的阿拉伯之春抗議行動就是一個明顯案例。

The future of warfare is both multi-domain and urban. Rather than viewing these areas in isolation, urban operations need to be viewed as inherently multi-domain. The conclusions from MDO research offer important insights for planning operations in dense urban regions.

多領域與城鎮是未來戰爭的特色，我們不應將城鎮區排除在多領域作戰規劃範圍之外，城鎮戰應該被視為是多領域作戰之一部分。本文在結論對多領域作戰研究之各項見解，期能作為城鎮區作戰規劃之參考。

譯後語

本文指出多領域作戰之運用研究不能獨漏城鎮區，城鎮區內各種非軍事因素之戰場經營是致勝關鍵。現代化戰爭型態已不再是某單一領域的經營，城鎮區錯綜複雜的環境就是明顯例子。美軍當前在城鎮區的火力打擊型態是針對重要的政軍設施、指揮中心進行精準打擊，甚至對重要人物進行斬首攻擊。然而，在攻擊過後，重要的是須重建當地秩序，否則逕自撤軍將產生權力真空，城鎮

區內的叛亂活動勢必死灰復燃，美軍以往曾犯下這種錯誤。

我國在城鎮區的思維屬於守勢作戰，由於佔有地利優勢，可以利用狹窄彎曲的街道對敵部隊發動奇襲，另巷弄、窗戶、屋頂、地鐵入口，以及下水道和地下道出入口等，也都可以提供許多攻擊的時機。為了精進城鎮戰訓練，作戰部隊應結合現地進行演練，不能僅依賴城鎮戰訓練場，畢竟這些訓場多半不具電力設施，以及無模擬效果與功能性設施，僅是空洞的水泥建築，缺乏生氣與人氣。仿真訓練，部隊才能熟悉地形地勢，才能發揮真正戰力。在城鎮戰中，砲兵火力運用除了對火線部隊進行直接支援外，另一種另類思維是運用自走砲對敵戰車實施攻擊，美軍就曾以 M109A6 自走砲車演練直瞄射擊方式，成為另類的反戰車砲，砲兵在城鎮戰的火力思維，有時也應發想不按牌理出牌部分。

敵對我國城鎮區發動攻勢之前，一定會先期進行戰場經營，本文所提出城鎮運作功能的六項要素：生產、配置、認同、合法性、政治參與、政治滲透，以及多領域作戰與城鎮區之三項交集，可以作為我國鞏固城鎮區的發想，因為敵人會伺機對此進行滲透破壞，在現代戰爭型態中，手段多變，已成為一種常態，我們要秉持「料敵從寬、禦敵從嚴」的建軍備戰態度，因此作戰思維不能侷限軍事領域，須有跨領域的視野與知識，方能克敵致勝。

作者簡介

Richard Wolfel, PhD, is a professor of geography and chair of cross-cultural competence in the Center for Languages, Cultures and Regional Studies and the Department of Geography and Environmental Engineering at the U.S. Military Academy.

Amy Richmond, PhD, is a professor of geography at the U.S. Military Academy.

Lt. Col. Jason Ridgeway, PhD, U.S. Army, is an academy professor in the Department of Geography and Environmental Engineering at the U.S. Military Academy.

理查·沃菲爾博士係美國西點軍校地理學教授，並在校內的語文、文化暨區域研究中心負責主導跨文化能力以及擔任地理與環境工程系系主任。

艾咪·理奇蒙博士係美國西點軍校地理學教授。

傑森·理奇偉係美陸軍中校，具有博士學位，並在美國西點軍校地理與環境工程系擔任學院教授。

譯者簡介

劉宗翰陸軍中校，國防大學管理學院 93 年班，政治大學外交系戰略所碩士；現服務於國防部政務辦公室史政編譯處，曾任《國防譯粹》月刊主編。

陸軍《砲兵季刊》徵稿簡則

- 一、**刊物宗旨**：本刊定位為野戰砲兵及野戰防空專業論壇，採季刊方式發行，屬政府出版品，供專家學者及現、備役官兵發表及傳播火力領域專業知識，並譯介國際砲兵新知，歡迎各界賜稿及提供消息。
- 二、**發行及徵稿**：本刊為季刊，每年 3、6、9、12 月各出版電子形式期刊，每期有一主題為徵稿核心，但一般論述性質著作仍歡迎投稿，每期出版前 3 個月截稿，稿件並送聯審，通過程序審查才予刊登。
- 三、**審查制度**：本刊採雙向匿名審查制度，學術論文委託本部各教學組長審理，審查結果分成審查通過、修改後刊登、修改後再審、恕不刊登、轉教學參考等 5 項，審查後將書面意見送交投稿人，進行相關修訂及複審作業。
- 四、**投稿字數**：以一萬字為限，於第一頁載明題目、作者、提要、關鍵詞，註釋採逐頁註釋，相關說明詳閱文後（撰寫說明、註釋體例）。
- 五、**收稿聲明**：來稿以未曾發表之文章為限，同稿請勿兩投，如引用他人之文章或影像，請參閱著作權相關規定，取得相關授權，來稿如有抄襲等侵權行為，投稿者應負相關法律責任。
- 六、**著作權法**：投稿本刊者，作者擁有著作人格權，本刊擁有著作財產權，凡任何人任何目的轉載，須事先徵得同意或註明引用自本刊。
- 七、**文稿編輯權**：本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿註明，無法刊登之稿件將儘速奉還；稿費依「中央政府各機關學校出席費及稿費支給要點」給付每千字 680 至 1,020 元，全文額度計算以每期預算彈性調整。
- 八、**授權運用**：文稿一經刊載，同意《砲兵季刊》採用創用 CC 「姓名標示-非商業性-相同方式分享」3.0 版臺灣授權條款，授權予不特定之公眾利用本著作，授權機制如下：
 - （一）姓名標示：利用人需按照《砲兵季刊》指定方式，標示著作人姓名。
 - （二）非商業性：利用人不得為商業目的而利用本著作。
 - （三）相同方式分享：若利用人將他人著作改變、轉變或改作成衍生著作，必須採用與本著作相同或相似、相容的授權條款、方式，始得散布該衍生著作。

授權條款詳見：<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/tw/>

九、**投稿人資料**：稿末註明投稿人服務單位、級職、姓名、連絡電話及通訊地址。

十、**特別聲明**：政府對「我國國號及對中國大陸稱呼」相關規定如次。

（一）我國國名為「中華民國」，各類政府出版品提及我國名均應使用正式國名。

（二）依「我國在國際場合(外交活動、國際會議)使用名稱優先順位簡表」規定，稱呼大陸地區使用「中國大陸」及「中共」等名稱。

十一、**電子期刊下載點**

（一）國防部全球資訊網（民網）

<http://www.mnd.gov.tw/PublishMPPeriodical.aspx?title=%E8%BB%8D%E4%BA%8B%E5%88%8A%E7%A9&id=14>

（二）GPI 政府出版品資訊網（民網）

<http://gpi.culture.tw>

（三）國立公共資訊圖書館（民網）

<https://ebook.nlpi.edu.tw/>

（四）HyRead 臺灣全文資料庫（民網）

<https://www.hyread.com.tw>

（五）陸軍軍事資料庫（軍網）

<http://mdb.army.mil.tw/>

（六）陸軍砲兵訓練指揮部「砲兵軍事資料庫」（軍網→砲訓部首頁）

<http://web.aams.edu.mil.tw/dep/lib/砲兵軍事準則資料庫/WebSite1/counter.aspx>

十二、**投稿方式**：郵寄「710 台南市永康區中山南路 363 號砲兵季刊社－張晉銘主編收」，電話 934325－6（軍線）06-2313985（民線），電子檔寄「army099023620@army.mil.tw」（軍網）、「cjm8493@gmail.com」（民網）「army_aatc@mail.mil.tw」（民網）。

撰寫說明

- 一、稿件格式為：提要、前言、本文、結論。
- 二、來稿力求精簡，字數以 10,000 字以內為原則，提要約 400 字。
- 三、格式範列如次：

題目

作者：○○○少校

提要 (3-5 段)

- 一、
- 二、
- 三、

關鍵詞：(3-5 個)

前言

○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

標題 (新細明體 14、粗黑)

一、次標題 (新細明體 14、粗黑)

○○ (內文：新細明體 14、固定行高 21)
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○
(一)○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○
1.○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○
(1)○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○
A.○○○○○○, ¹○○○○○○○。²
(A)○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

標題

標題

結語與建議

○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

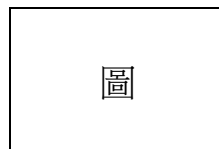
參考文獻 (至少 10 條)

作者簡介

注意事項：

- 版面設定：A4 紙張縱向、橫打，上下左右邊界各 2 公分。
- 中文為新細明體字型、英文及數字為 Arial 字型。
- 題目：新細明體 18、粗黑、居中。
- 作者、提要、前言、結論等大標題為新細明體 14、粗黑。
- 內文：新細明體 14、固定行高 21。
- 英文原文及縮寫法：中文譯名 (英文原文, 縮語)，例：全球定位系統 (Global Position System, GPS)。
- 圖片(表)說明格式及資料來源：以註譯體例撰寫或作者繪製。標題位置採圖下表上。

表一 ○○○○



圖



表

圖一 ○○○○

資料來源：○○○○

資料來源：○○○○

- 註釋 (採隨頁註釋，全文至少 10 個)：本文中包含專有名詞、節錄、節譯、引述等文句之引用，請在該文句標點符號後以 Word/插入/參照/註腳方式，詳列出處內容，以示負責。

此編號為「註釋」標註方式。

凡引用任何資料須以 Word “插入/參照/註腳” (Word2007 “參考資料/插入註腳”) 隨頁註方式註明出處。

註釋體例

註釋依其性質，可分為以下兩種：

一、說明註：為解釋或補充正文用，在使讀者獲致更深入的瞭解，作者可依實際需要撰寫。

二、出處註：為註明徵引資料來源用，以確實詳盡為原則。其撰寫格式如下：

（一）書籍：

- 1.中文書籍：作者姓名，《書名》（出版地：出版社，民國/西元x年x月），頁x～x。
- 2.若為再版書：作者姓名，《書名》，再版（出版地：出版者，民國/西元x年x月），頁x～x。
- 3.若為抄自他人著作中的註釋：「轉引自」作者姓名，《書名》（出版地：出版者，民國/西元x年x月），頁x～x。
- 4.西文書籍：Author' s full name, Complete title of the book (Place of publication: publisher, Year), P.x or PP.x～x.

（二）論文：

- 1.中文：作者姓名，〈篇名〉《雜誌名稱》（出版地），第x卷第x期，出版社，民國/西元x年x月，頁x～x。
- 2.西文：Author' s full name, "Title of the article," Name of the Journal (Place of publication), Vol.x, No.x(Year), P.x or PP.x-x.

（三）報刊：

- 1.中文：作者姓名，〈篇名〉《報刊名稱》（出版地），民國x年x月x日，版x。
- 2.西文：Author' full name, "Title of the article," Name of the Newspaper (Place of publication), Date, P.x or PP.x-x.

（四）網路：

作者姓名（或單位名稱），〈篇名〉，網址，上網查詢日期。

三、第1次引註須註明來源之完整資料(如上)；第2次以後之引註有兩種格式：

（一）作者姓名，《書刊名稱》(或〈篇名〉，或特別註明之「簡稱」)，頁x～x；如全文中僅引該作者之一種作品，則可更為簡略作者姓名，前揭書(或前引文)，頁x～x。(西文作品第2次引註原則與此同)。

（二）同註x，頁x～x。

著作授權書及機密資訊聲明

- 一、本人_____（若為共同創作時，請同時填載）保證所著作之「_____」（含圖片及表格）為本人所創作或合理使用他人著作，且未以任何形式出版、投稿及發表於其他刊物或研討會，並同意著作財產權於文章刊載後無償歸屬陸軍砲訓部(下稱貴部)所有，且全權授予貴部將文稿進行重製及以電子形式透過網際網路或其他公開傳輸方式，提供讀者檢索、下載、傳輸、列印使用。
- 二、著作權聲明：本人所撰文章，凡有引用他人著作內容者，均已明確加註並載明出處，絕無剽竊、抄襲或侵害第三人著作權之情事；如有違反，應對侵害他人著作權情事負損害賠償責任，並於他人指控貴部侵害著作權時，負協助貴部訴訟之義務，對貴部因此肇致之損害並負賠償責任。
- 三、文稿一經刊載，同意《砲兵季刊》採用創用 CC 「姓名標示-非商業性-相同方式分享」3.0 版臺灣授權條款，授權予不特定之公眾利用本著作，授權機制如下：
 - (一)姓名標示：利用人需按照《砲兵季刊》指定方式，標示著作人姓名。
 - (二)非商業性：利用人不得為商業目的而利用本著作。
 - (三)相同方式分享：若利用人將他人著作改變、轉變或改作成衍生著作，必須採用與本著作相同或相似、相容的授權條款、方式，始得散布該衍生著作。授權條款詳見：<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/tw/>
- 四、論文內容均未涉及機密資訊，如有違反規定，本人自負法律責任。
- 五、囿於發行預算限制及相關法令規範，同意依實際獲得預算額度彈性調整稿費計算標準。

授權人（即本人）：

（親簽及蓋章）

身分證字號：

連絡電話：

住址：

中華民國

年

月

日



飛彈操演射手集訓



ISSN 2221-0806

GPN 4810400164 定價：非賣品