

砲兵水上目標射擊火力效果評估模式研究

提要：

一、「水上目標射擊」乃國軍遂行「三軍聯合泊地攻擊」任務時，砲兵是否能發揚遠程火力的重要射擊技術。然因涉及諸多具不確定性質的因素使其實際射擊效果遭受質疑。

二、本研究透過文獻探討及模擬分析的方法，建構數量化模式，解算水上目標射擊的效果，並進一步利用此模式做為工具操作產生參數後，探求在各種不同任務要求與作戰環境限制下，各參數變項對射擊效果之影響。據此可作為準則制定，砲兵部署，武器系統建案獲得等相關決策依據。

壹、研究動機與目的

「水上目標射擊」乃國軍遂行「三軍聯合泊地攻擊」任務時，砲兵是否能發揚遠程火力的重要射擊技術。而此種射擊法通常係以「不試射逕行效力射」對水上活動目標實施射擊為原則¹。其效果是否達成，牽涉許多複雜難測的變項，諸如：目標艦艇之特性（敵艦艇尺寸、易損性、航速、航向），定位精度（各種觀測方法所產生之誤差），火炮射擊特性（射擊之精度與準度、射擊時機、彈丸與信管之組合對艦艇所產生的威力半徑、陣地幅員、陣地與目標長軸之夾角、射擊單位數量）..等因素之影響。也因為相關的射擊要素具備許多「不確定性」的特質，在缺少實際參數驗證狀況下，其火力效果不可避免的會受到許多質疑。因此本研究首要之

¹ 《野戰砲兵觀測訓練教範》（陸軍司令部，民國 92 年 10 月 1 日），頁 6-101。

目的就是希望建立水上目標射擊火力效果量化分析模擬模式；並且進一步利用此模式做為工具操作產生參數後，進行科學分析，探求在各種不同任務要求與作戰環境限制下，各參數變項對射擊效果之影響。據此可作為準則制定，砲兵部署，武器系統建案獲得等相關決策之量化分析基礎。

貳、因素探討

為了能將問題進一步清楚的陳述，分別由操作與計劃方式、艦艇航向的預測性及火炮射擊效果三方面，探討與水上目標射擊法有關的影響因素：

一、水上目標射擊法

(一)「水上目標射擊」係以岸上陣地火炮對水面目標（通常為活動艦艇）

所行之射擊方式。其射擊過程係利用目獲機構以極座標法或交會觀測法每隔一段時隔（通常為每 1 分鐘），連續向射擊指揮所測報目標位置，而射擊指揮所依圖解求取其航向、航速並預判目標在經過一段時間 t 後可能到達的位置，再依目標性質與戰術價值選擇適切之攻擊組合（射擊單位數、彈種、信管），對目標實施射擊²，其操作概念如圖 1 所示。

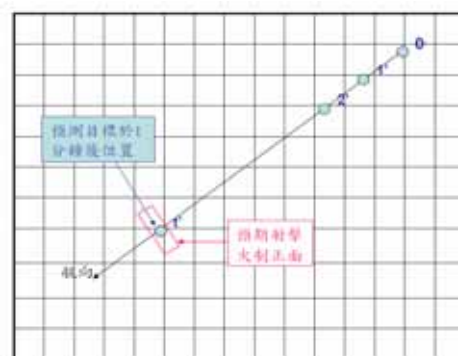


圖 1 水上目標射擊操作概念示意圖（資料來源：野戰砲兵射擊訓練教範）

² 《野戰砲兵射擊訓練教範》（陸軍司令部，民國 95 年 5 月 30 日），頁 7-27。

(二)以「水上目標射擊」為基礎，依目標特性、火力涵蓋面(火制正面)

計劃方式及射擊群數不同，另延伸出「方格座標射擊法」與「海上

集火帶射擊法」等兩種射擊火力計劃區分：

1. 方格座標射擊法

以地圖座標方格為計畫方式，劃定數個小方格，並將每一小方格

中心點指定射擊單位完成射擊諸元計算使火力涵蓋此區域，當目

標船艦（或舟波）出現於任務區域時，觀測機構與射擊指揮所仍

依「水上目標射擊」要領，預測目標在 t 分鐘後之出現位置，選

定最接近之對應圖上方格實施射擊(射擊 1 群或數群射彈(圖 2))。

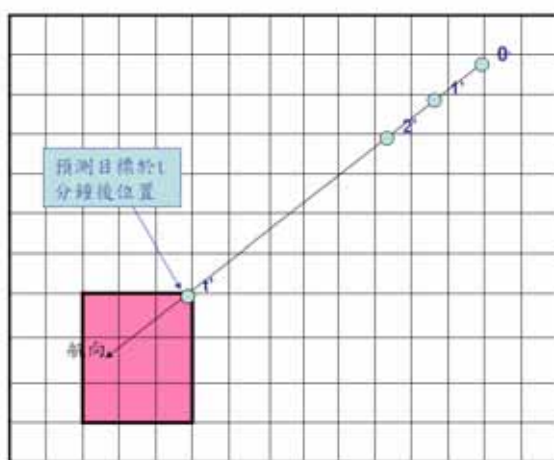


圖 2 方格座標射擊法操作概念示意圖

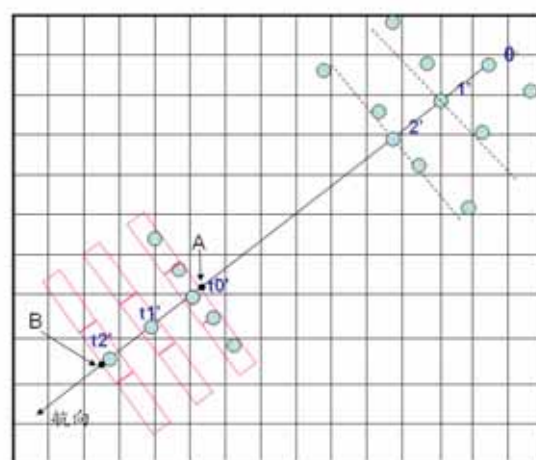


圖 3 海上集火帶射擊法操作概念示意圖

2. 海上集火帶射擊法

對敵形成舟波的可能航行路徑上，依可能之航向、航速與舟波寬

度，劃定數個垂直於舟波航向的帶狀火力射擊區域，對此區域安排

射擊時間（依假定之航速）、指定射擊單位與完成射擊諸元計算，

當目標船艦（或舟波）出現於任務區域時，觀測機構與射擊指揮所依「水上目標射擊」要領，預測目標舟波在出現位置 A 點的時間 t ，分別於 t 、 t_1 、 t_2 時間在相對應之集火帶實施射擊(射擊 1 群或數群射彈(圖 3))。

二、航向預測

登陸作戰多係以「奇襲」為行動要求，故對水上活動目標預判其確切航向有其困難度；然而就敵登陸作戰期程而言，目標艦艇航跡規則性通常與登陸點的距離成反向，也就是說愈近登陸點，企圖愈明確（例如：舟波運動、沖擊出發），航向改變可能性愈小，航跡愈具可預測性，目標預測點的正確性也就愈高(圖 4 點 b)；反之距登陸點愈遠時（例如：換乘與舟波運動前）目標具較大運動彈性，要正確預判其航跡則愈加困難(圖 4 點 c)。

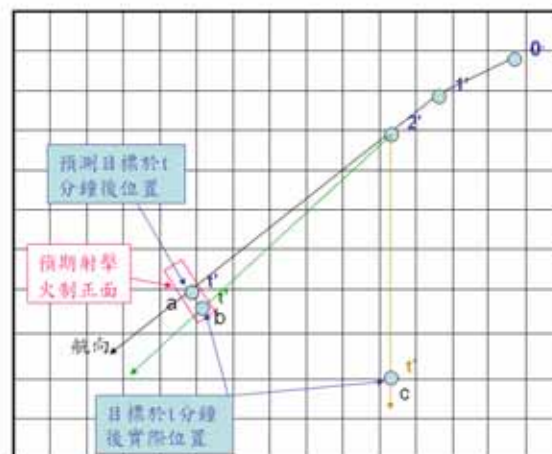


圖 4 艦艇航向預測示意圖

三、射擊效果

(一)命中與毀傷 (Hit & Kill)

欲評定砲兵對目標射擊效果必須關係到兩種事件的認定，一為發生命中（Hit）目標的事件，另一為發生毀傷（Kill）目標的事件。命中係指射彈落於目標上或某一範圍內，通常以機率表示，稱為「命中率」；單發射彈能造成目標一定程度的破壞面積，稱為「威力範圍」，若將此面積假設為圓形，則圓半徑 r 可做為描述其威力之參數，其大小會因不同射彈與目標的組合而改變，若威力範圍能與目標命中範圍產生涵蓋，也就是射彈在威力範圍內命中目標，則稱目標毀傷，若目標具有均質面狀散佈的特性（例如：分布於開闊地形的散兵目標），那麼在命中範圍內射彈威力涵蓋的比例可代表毀傷程度即為「毀傷率」，一般運用百分比表示其效果。³

（二）誤差（Error）

射彈落點與目標中心點所產生之差異距離稱之為誤差，其因素複雜但可歸納為「瞄準誤差」與「散佈誤差」兩大類，因觀測定位或其它因素使瞄準點無法與目標中心點重合而產生之偏差稱為瞄準誤差，反應出射擊的「準度」；而由同武器對同瞄準點發射數發射彈，射彈與射彈落點的差距稱之為散佈誤差，反應出武器與射彈射擊的「精度」。⁴

³ 《Mathematical Methods in Defense Analyses》（J.S.Przemieniecki ,American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Reston, Virginia, ISBN1-56347-397-6, 2000 ），p28。

⁴ 《作戰模擬基礎》（張野鵬，北京高等教育出版社，民國 93 年 9 月），頁 158。

(三) 機率誤差 (Error Probable, EP)⁵

因火炮射擊過程存有不可控制的變動因素，即使在相同的環境條件下，進行多次射擊也很難產生為固定常數的「誤差值」，所以此誤差本身具「隨機變數 (Random Variable)」的特性，也就是說誤差為一變數，此變數可能出現的「值」⁶依循著某一種「機率分布」，例如：某一射彈在相同的環境下射擊 4 發，落於目標中心點 1 發，落於距目標中心點 5 公尺、10 公尺及 15 公尺內各 1 發，依此有限的觀測資料可描述射彈發生散佈誤差值小於 5 公尺內的事件可能性為 50% (2 發)，散佈誤差值小於 10 公尺的事件可能性為 70% (3 發)，散佈誤差值小於 15 公尺的事件可能性為 100% (4 發)，亦可將此誤差現象描述為有 50% 的可能性射彈散佈誤差值在 5 公尺內，70% 的可能性射彈散佈誤差值小於 10 公尺，依此類推；而瞄準誤差亦可作同樣的理解。若假設誤差隨機變數其機率分配的屬性具有常態分配 (Normal Probability) 的性質，依誤差產生的維度 (Dimension) 可分別定義出「線形機率誤差 (Linear Error Probability, LEP)」與「圓形機率誤差 (Circle Error Probability, CEP)」⁷：

1. 線形機率誤差 (LEP)⁸

³ 亦可譯作「公算偏差」。

⁶ 隨機變數可能出現之「值」亦可稱為「變量」。

⁷ 同註 3。

⁸ 亦可譯作「線形公算偏差」

以誤差隨機變數服從常態分配假設條件，在某些可能機率下（通常為 50%）射彈（固定裝藥與距離）對目標單軸（方向或距離）所產生的偏差值範圍，例如：某裝藥型式下射彈射距○○公尺，方向（或距離）散佈偏差（LEP）為 XX 公尺，即代表射彈在此狀況下有 50%可能性落於距目標 XX 公尺距離內。又因 LEP 具有服從常態分配的特性所以透過標準常態分配的轉換可得到 LEP 與常態分配參數平均數($\bar{x}$)與標準差(σ)的關係式：

$$0.6745\sigma = x - \bar{x} = \text{LEP} \quad (2.1)^9$$

在沒有瞄準誤差的狀況下， $\bar{x}$ 代表平均彈著點亦為目標中心點其值為 0， x 為機率誤差隨機變數，($x - \bar{x}$) 即是偏差量 LEP。而 0.6745 為標準常態分配在機率為 0.5 時所對應的常數，此式的意涵代表線形機率誤差等於常數 0.6745 乘以標準差 σ ；換言之當知道某射彈的 LEP 值時，即可求得的誤差所服從的機率分配參數 (σ)，將已知參數帶入常態分配之機率密度函數 (Probability Mass Function) $f(x)$ 依誤差變數的範圍積分¹⁰便可得到誤差變量內的累加機率，或是各種機率下的預期誤差量。例如某型火砲其 LEP=40 公尺，假設瞄準點位於目標中心上，其射彈散佈誤差距目標中心小於 10 公尺內的機率為何？依(2.1)式求得 $\sigma = 59.303$

⁹ 同註 3，p30。

¹⁰ 《統計學-方法與運用》(吳惠玲 陳正倉合著，雙葉出版社，民國 90 年 6 月)，頁 250。

(40/0.6744)，且 $\bar{x}=0$ ，落於在 10 公尺範圍內(誤差在 10 公尺內)

的機率為可計算表示為：

$$P(0 < X < 10) = \int_0^{10} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}\right] dx = 0.06695 \quad (2.2)$$

$$P(-10 < X < 10) = \int_{-10}^{10} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}\right] dx = 0.133908 \quad (2.3)$$

(2.2)、(2.3)式分別表射彈落於目標單邊及雙邊機率¹¹，依此原理可運用 EXCEL 統計軟體中 NORMDIST 函數，分別計算出散佈誤差值=10,20, 200 公尺之機率(參閱表)，將其與觀測教範表 5-1¹²比較印證，可得到近似相同的結果(小數點以下 3 位相同)。

LEP	標準常態常數	標準差	平均數	<=散佈誤差範圍	公算偏差倍數	命中率(命中公算)	表5-1(T命中公算)
40	0.6745	59.30319	0	10	0.25	0.066954	0.672
				20	0.5	0.132036	0.1319
				30	0.75	0.193528	0.1935
				40	1	0.250003	0.25
				50	1.25	0.300421	0.3003
				60	1.5	0.344171	0.3442
				70	1.75	0.381074	0.3811
				80	2	0.411332	0.4113
				90	2.25	0.435446	0.4353
				100	2.5	0.454126	0.454
				110	2.75	0.468193	0.4682
				120	3	0.478489	0.4787
				130	3.25	0.485815	0.4859
				140	3.5	0.490881	0.4908
				150	3.75	0.494287	0.4942
				160	4	0.496512	0.4969
				170	4.25	0.497926	0.498
				180	4.5	0.498798	0.4999
				190	4.75	0.499322	0.4993
				200	5	0.499628	0.4996

表 1 LEP 命中率與正常命中公算比較表

¹¹ 一般定義 LEP 值皆以對稱雙邊機率計算。

¹² 同註 1，頁 5-41。

2. 圓形機率誤差(CEP)¹³

若考慮的是兩個維度 (x, y) 的誤差，而每個維度的誤差隨機變數皆服從相同的常態分配並相互獨立，且瞄準點無偏差，在此假定下此誤差隨機變數的機率分配亦服從「二元常態分配」。如同 (2.1) LEP 與參數 σ 的常數關係式，CEP 與參數 σ 的常數關係式可表示為：

$$1.1774\sigma = \text{CEP} \quad (2.4)^{14}$$

若以 r 為射彈落點距目標中心的半徑距離，則射彈可能落於此半徑內的機率可能性 $P(r)$ 為：

$$P(r) = 1 - \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.5)^{15}$$

(四) LEP、CEP 在射擊效果上的意義

1. 代表射彈對目標中心的散佈，且有 50% 可能性射彈會落於這個誤差範圍內，可當武器系統精度指標。
2. 由 (2.1)、(2.4) 式，可計算 σ 參數值，進一步透過常態分配的特性求出射彈對目標落於各種散佈範圍內可能的機率，若將散佈範圍視為目標的尺寸，此誤差產生的機率值即為射彈對目標的命中率。

¹³ 亦可譯作「圓型公算偏差」

¹⁴ 同註 3，p30。

¹⁵ 同註 3，p37。

- 3.以射彈對目標的威力範圍參數結合命中率，即為射擊效果，可用為武器系統射擊效益指標。

叁、研究範圍與限制

本研究範圍置重點於將砲兵火力單位對單一水面艦艇進行一次群射的事件過程予以模擬，透過電腦能大量快速演算的特性，進行百次以上試驗後評估分析其火力效果，以求能獲得作戰實務課題上客觀的運用依據，因此模式建構的內容包括：艦艇航跡與尺寸模擬、觀測點模擬、多門火砲群射彈著點模擬及命中與毀傷效果的解算等相關部分，但為避免模式過於複雜使問題失焦，研究範圍將受以下四點假設之限制：

- 一、排除艦艇運動時，海象與氣候等因素對其航向及航速的影響。
- 二、僅針對單一水上運動艦艇為建模對象，非面狀船團。
- 三、假設單發射彈對目標威力範圍為圓形。
- 四、假設目標為均質線形以等速航行之艦艇。

肆、模式建構

一、航跡與艦艇尺寸模擬

艦艇係於海上航行之活動目標，欲細緻模擬其特性牽涉許多複雜的因素，故僅針對本研究的尺度需求，考慮必要的兩類參數：航跡(航速、航向)與艦艇尺寸建構其模型。

(一)艦艇航跡

假設海平面為二維（ x, y ）直角座標系，以艦艇最近出現於觀測點的實際位置為座標零點（ $0,0$ ），座標縱軸（ y 軸）為預測的航向，若航向預測無誤且航速固定下， t 分鐘後艦艇將出現在（ $0, y(t)$ ）的位置，但是預判航向不能代表船艦航行方向的唯一可能性，如第二節所述敵艦艇在不同登陸效程下航向不確定性會隨與岸距離而增加，若定義航向 0° 視為船艦完全不轉向為「規則性」運動。因此假設兩種航向的可能尺度描述此現象¹⁶：以預判船艦航行方向為中心，航向變化可能性在 $\pm 30^\circ$ 內定義為「低規則性」；變化可能性在 $\pm 15^\circ$ 內視為「部分規則性」。在模擬操作原理上，視艦艇對預判航向有橫向移動可能，其在 x 軸的橫向位移量為 s ，在 y 軸的縱向位移量為 $y(t)-s$ 也就是在 t 分鐘後艦艇所出現的位置為（ $s, y(t)-s$ ），實際位移量為 $\sqrt{s^2 + (y(t) - s)^2}$ 。以均等分配（Uniform Distribution）之隨機變數 U ¹⁷，來模擬橫向位移，其範圍為（ $-s \leq U \leq s; s \leq y(t)$ ），意即為艦艇橫向移動量最大值為 s 最小值為 $-s$ ，且在此範圍內發生其值的機率均相等；根據對「低規則性」評估標準，航向可能性 $\pm 30^\circ$ 時， $s = \pm 0.5y(t)$ ；「部份規則性」評估標準，航向可能性 $\pm 15^\circ$ 時， $s = \pm 0.25y(t)$ 。例如：艦艇以等速 10 節運動，分析 5 分鐘（ $y(5)=1541M$ ）後，在低規則性與部份規則性下航跡可能位置。運用 EXCEL 軟體所內鍵的資料分析工具點選(亂數產生器/均等

¹⁶ 相通假設與方法下，亦可依需要，進行更多尺度的分析。

¹⁷ 同註 10，p269 頁

分配)分別輸入 x 軸位置 ± 770.8 (0.5×1541) ; ± 385.4 (0.25×1541) 模擬三種航向規則性艦艇可能的航跡位置，100 次試驗結果如圖 6。透過上述方法，可大量建立在某一可能變化內，t 時後航跡點的位置。

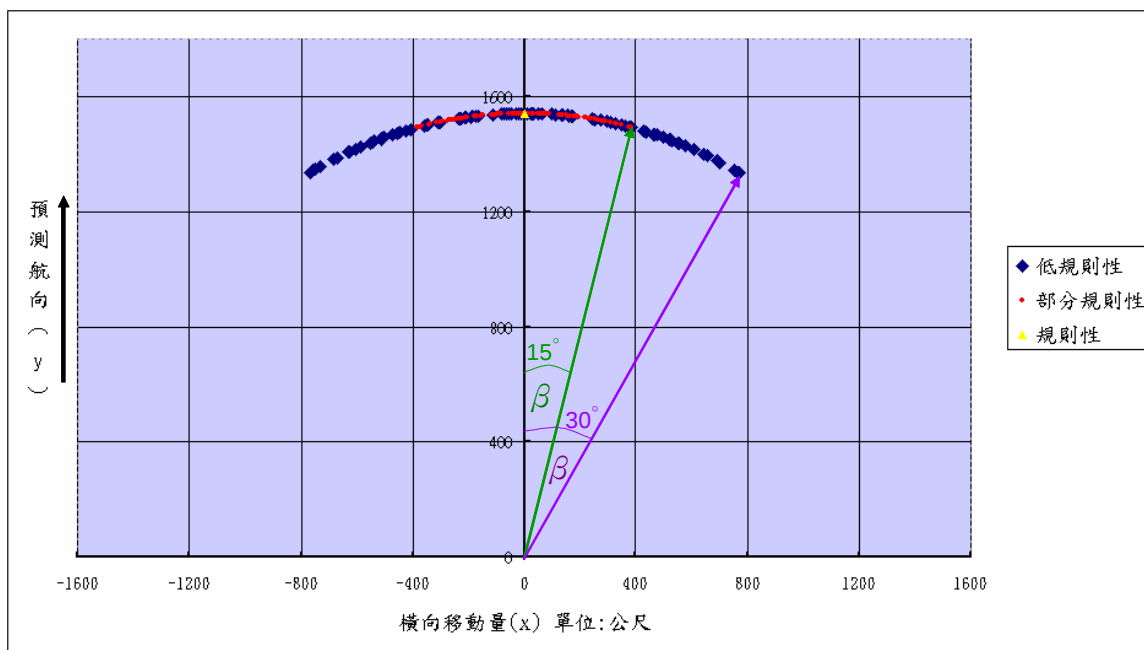


圖 5 模擬 $t=5'$ 航速 10 節下三種可能航向位置圖

(二)艦艇尺寸

為簡化模式的複雜性，假定敵艦為線型目標（僅考慮長度忽略寬度），其由 10 公尺至 120 公尺長劃分 12 種尺寸型態。數值上的處理是由艦艇中心點每 ± 5 公尺設置 1 測點表示艦艇實體長度所在位置，並運用「直角座標系統座標軸旋轉」公式¹⁸，使各點連成之線與航向 β 相同，參閱式(2.6)(2.7)。其測點位置以 (x_s, y_s) 表示， w 為艦艇寬度其值為 0， L 為測點與艦艇中心距離。

¹⁸ 《數學基本公式手冊》（九章出版社，民國 81 年），頁 68。

$$x_s = s \cdot \cos \alpha - (y(t) - s) \cdot \sin \beta + w \quad (2.6)$$

$$y_s = s \cdot \sin \alpha + (y(t) - s) \cdot \cos \beta + L \quad (2.7)$$

二、觀測點、射彈威力範圍與彈著點模擬

射彈射擊諸元的決定係以觀測機構所測報的艦艇位置為依據，換算其 t 分鐘後的航跡位置，故觀測點與射彈之精度誤差決定射彈落點之特性，一般而言觀測系統以 CEP 值定義觀測點與目標中心點誤差，射彈以 EP 值定義射彈落點與目標方向與距離之誤差，如同前所定義 CEP 與 EP 值之誤差變數皆有服從常態分配假設之特性，所以亦可依此特性為條件模擬多次觀測與射擊之後射彈落點與目標中心之間的誤差狀況。

(一)觀測點模擬

與艦艇航跡進行相同之假設：海平面為二維（ x, y ）直角座標系，以目標艦艇最近一次觀測到的實際位置為座標零點（ $x=0, y=0$ ），因觀測誤差所以目標測報位置為（ $0 \pm \varepsilon_x, 0 \pm \varepsilon_y$ ），其中 ε_x 與 ε_y 為平均數 $\mu = 0$ 標準差 $\sigma = 1.1774/\text{CEP}$ 的觀測誤差常態隨機變數。以 CEP 值 ± 10 公尺的觀測器材為例，可得 $\mu = 0$ ， $\sigma = 8.49329$ ，將其為參數運用 EXCEL 的亂數產生器，可產生模擬觀測點位置，模擬 100 次觀測試驗結果如圖 7。依 CEP 值定義，黃圈範圍內表 1 個公算偏差，若以目標中心點（0,0）向外 10 公尺半徑內計算，觀測器材進行 100 次觀測中至少有 50 次觀測點落於此範圍內。

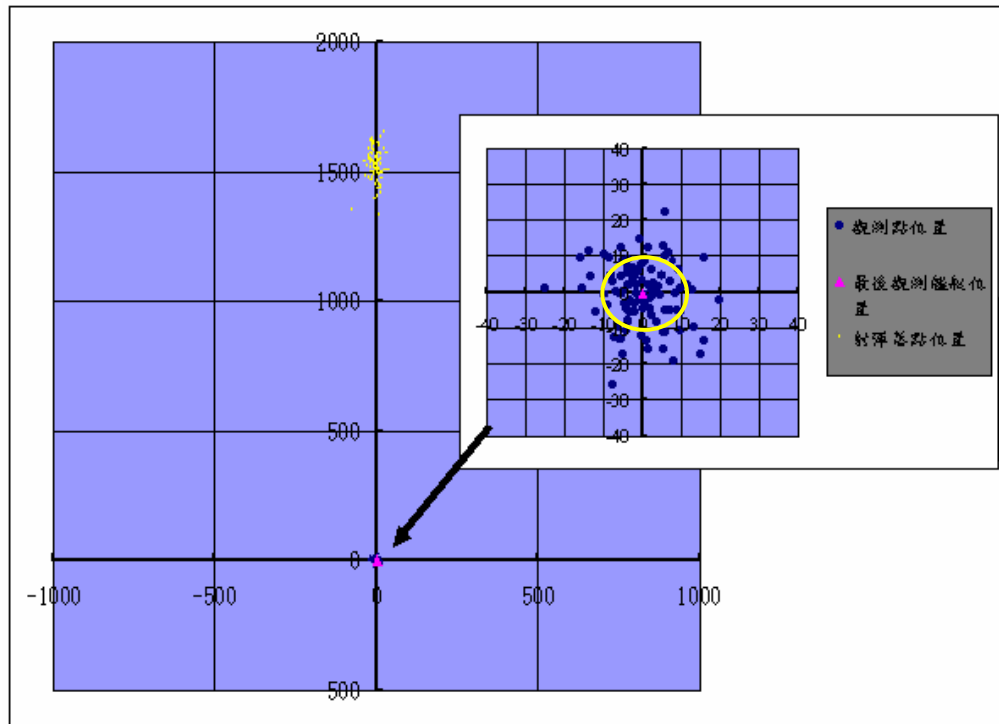


圖 6 觀測 CEP=10M，射彈 LEP(方向=11M，距離=43M)，模擬 100 次試驗觀測點與彈著點位置圖

(二)單門火砲彈著點模擬試驗

射彈以觀測點為基準點，推算其在 t 分鐘後位置為 $(0 \pm \varepsilon_x, y(t) \pm \varepsilon_y)$ ，此點即為 t 分鐘後彈著的瞄準點。與前述相同道理，此瞄準點並非落彈點，真正位置需考慮射彈之 LEP 值，射彈實際位置為 $(0 + \varepsilon_x + \xi_x, y(t) + \varepsilon_y + \xi_y)$ ， ξ_x 與 ξ_y 意義亦為平均數 $\mu=0$ 標準差 $\sigma=0.6745/LEP$ 的射彈誤差常態隨機變數。例如：目標艦艇航速為 10 節，觀測器材 CEP 值同為 10 公尺，射彈 LPE 值方向散佈為 11 公尺，距離散佈為 43 公尺，模擬對行駛 3 分鐘後的艦艇射擊，可能的射彈落點位置，同圖 7 黃點所示。

(三)多門火砲群射彈著點模擬試驗

如同單門火砲彈著點模擬方式，多門火砲同時群射，其考慮因素亦相同，惟另需加入各砲陣地放列間隔(w)、縱深(d)、火制正面長軸與預判航向不同軸而產生之夾角(α)等因素。依平面直角座標系統座標軸旋轉公式可知¹⁹，群射各點彈著座標(x_a, y_a)為

$$x_a = x' \cos \alpha - y' \sin \alpha \quad (2.8)$$

$$y_a = x' \sin \alpha + y' \cos \alpha + y(t) \quad (2.9)$$

其中 $x' = \varepsilon_x + \xi_x + w$, $y' = \varepsilon_y + \xi_y + d$ 。例如：以上個單門火砲相同條件的群射，加入火砲數 4 門、間隔 $w=100$ 、縱深 $d=50$ 、 $\alpha=0^\circ$ 及 30° 的參數，模擬 100 次群射試驗彈著點試驗結果如圖。

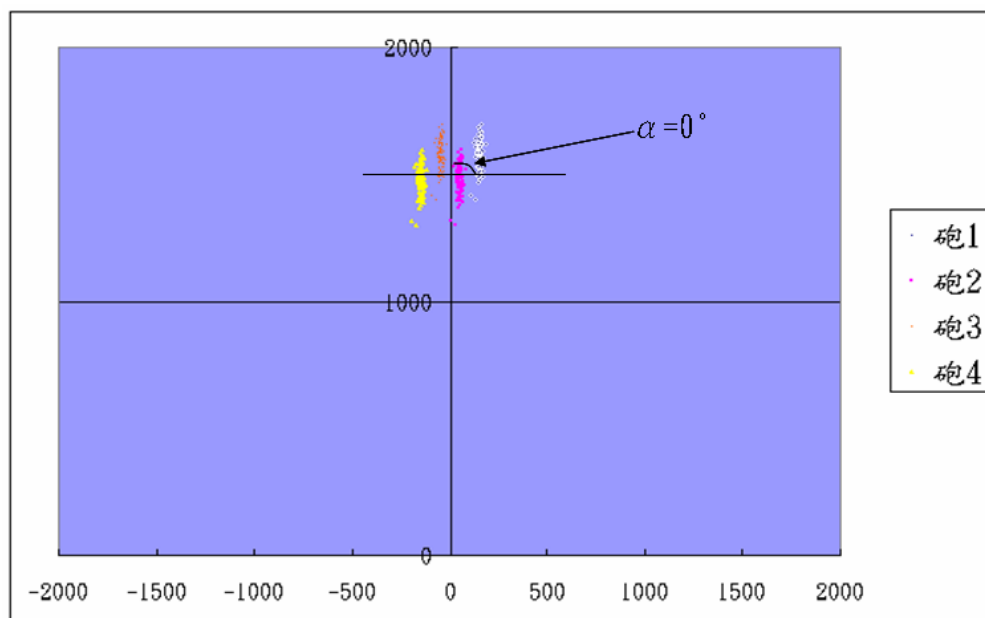


圖 7 觀測 CEP=10M，射彈 LEP(方向=11M，距離=43M)，火砲(間隔 $W=100M$ ，縱深 $d=50M$)， $\alpha=0^\circ$
模擬 100 次群射試驗彈著點位置圖

¹⁹ 同註 18

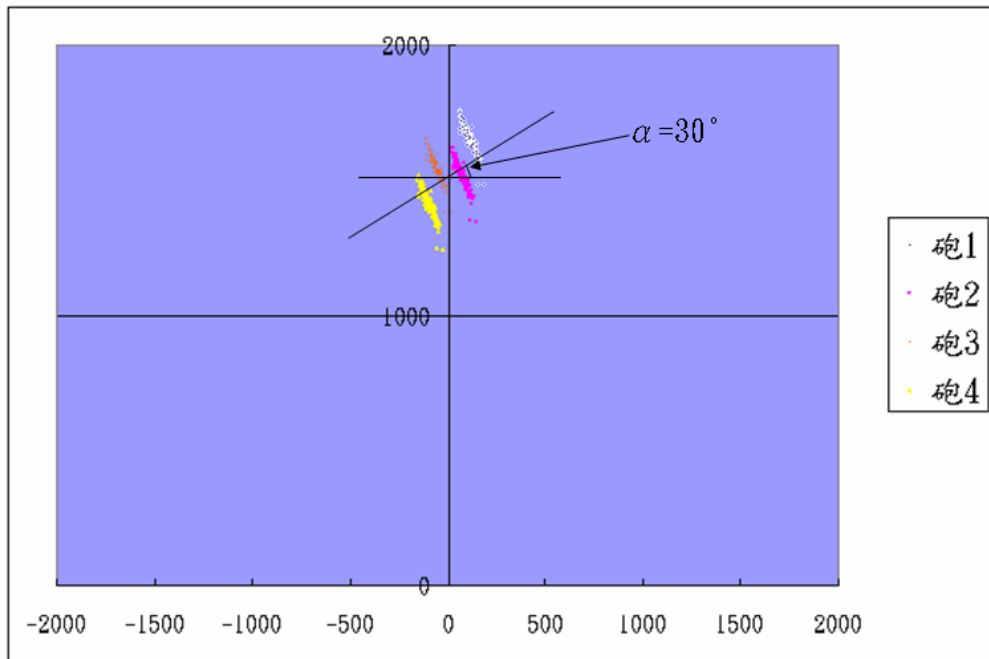


圖 8 觀測 CEP=10M，射彈 LEP(方向=11M，距離=43M)，火炮(間隔 W=100M，縱深 d=50M)， $\alpha=30^\circ$
模擬 100 次群射試驗彈著點位置圖

(四)命中與毀損之認定

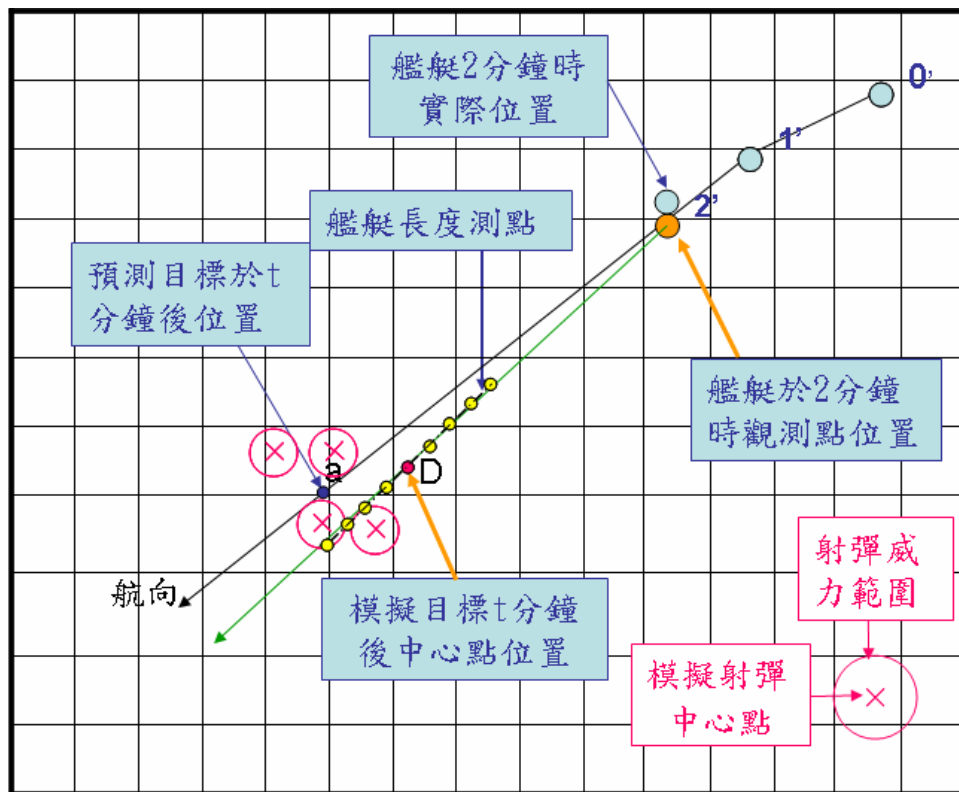


圖 8 一次模擬群射試驗命中事件與毀傷事件示意圖

如圖 8 表示「一次群射試驗」群射射彈威力範圍與目標艦艇之間的關係。射彈群命中與毀損的認定，係由三種指標分別計算「命中率」、「毀傷率」及「命中平均毀傷率」，命中率操作定義係指獨立模擬多次的群射試驗中，若有任何一次試驗，艦艇任意長度測點位置與群射任何一發射彈威力範圍產生交集，即認定為「命中事件」， $(\text{命中事件次數}) / (\text{射擊模擬試驗總次數 } n)$ 即為命中率，代表命中目標的可能性；而毀傷率操作定義係指單次試驗艦艇長度測點與射彈威力範圍產生交集的比例： $(\text{產生交集測點數}) / (\text{艦艇總測點數})$ 代表目標命中後受損程度，如圖例子，模擬艦艇長度為 40 公尺（共 9 個測點），在 t 分鐘時有 3 個測點與射彈威力範圍產生交集，依定義射彈涵蓋 3/9 的測點，故此單次射擊試驗結果為射彈命中艦艇且造成 33.33% 的毀傷。而「命中平均毀傷率」²⁰ 係指目標在命中條件下，平均的受損狀況： $(\text{命中目標毀傷率總和}) / (\text{命中事件次數})$ ，可代表總體而言每個被命中的目標平均的受損程度。欲利用 EXCEL 程式執行此過程，可利用 if 指令配合式(2.10)產生「艦艇命中毀傷 0,1 矩陣」，參閱附表，此表表示在 n 次試驗下每次試驗艦艇各測點狀況，艦艇測點若遭射彈毀傷 $z=1$ ，未毀傷則 $z=0$ ，依此即可計算上述三項指標。

$$\sqrt{(x_s - x_a)^2 + (y_s - y_a)^2} > r \text{ if true } z = 0 (\text{未毀傷}) \text{ if false } z = 1 (\text{毀傷}) \quad (2.10)$$

²⁰ 本文以下將「命中平均毀傷率」簡稱「平均毀傷率」

艦艇測點		D-20	D-15	D-10	D-5	D	D+5	D+10	D+15	D+20	單次毀傷率
試驗次數	$z(0, 1)$										
1		1	1	1	0	0	0	0	0	0	33.33%
2											
3											
n											

表 2 艦艇命中毀傷 0,1 矩陣表

三、模擬流程

連結上述對艦艇及射彈所建構的單項模式，可獲得完整之水上目標射擊火力效果評估模式，其流程可由圖 9 表示，若試驗次數訂為 100 次，則模擬 4 門火砲一次群射過程事件，EXCEL 軟體將產生 100 組航跡（含每 5 公尺測點位置）、100 個觀測點、400 個彈著點，再利用 IF 邏輯指令篩檢出能代表受射彈威力範圍所涵蓋的艦艇與測點位置的毀傷矩陣，進一步統計其命中率、毀傷率與命中平均毀傷率即可代表其火力效果。

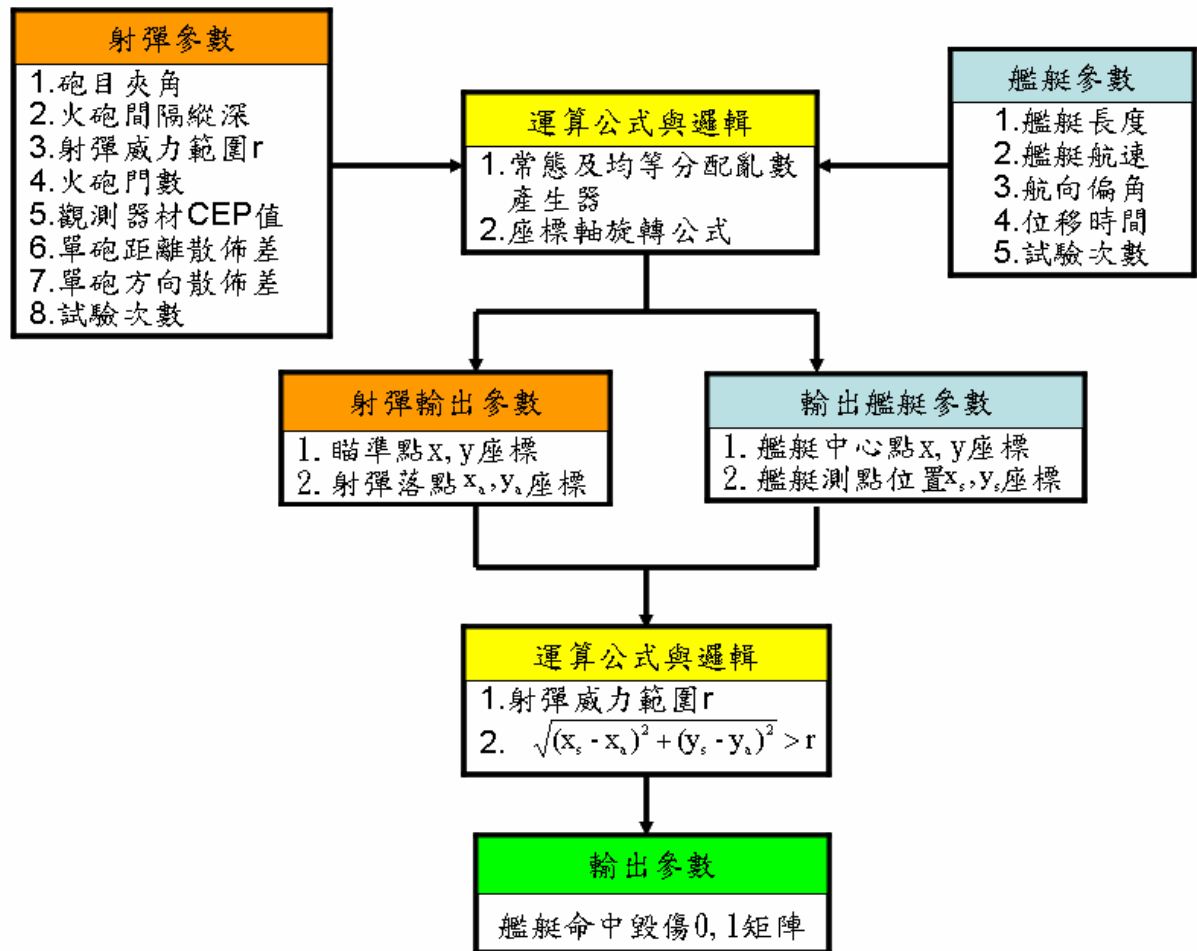


圖 9 模擬流程圖

伍、課題與分析實例

本模式在砲兵火力運用實務上，透過參數變項的控制操作（敏感性分析

Sensitivity Analysis）可作為下列兩型態的課題分析工具：

課題一武器裝備能力需求

一、用途

分析火砲（裝藥）精度、射彈威力及觀測定位精度對射擊效果之影響，

可作為武器裝備研發及測評規格制定標準。

二、實例分析

本軍欲研發一新型火砲射擊系統，作戰效能要求為~在現有的觀測水準與彈藥威力不改變下，於距岸○○公里處以一個排級射擊單位一次群射可對敵 LST 達到 30%的命中率，並保證命中彈能造成目標艦艇 60%的毀傷效果：(一)求火砲（裝藥）散佈精度測評標準如何訂定？(二)若同條件下增加彈藥威力範圍半徑；(三)若獲得自動化的指揮系統，使射擊操作時間由 5 分鐘縮短為 3 分鐘；等狀況下對火力效果之影響。

基本參數		控制參數（變項）	
艦艇航速	10 節	砲目夾角	0°, 20°, 40°
艦艇尺寸	LST: 110M	距離散佈 LEP	55~15M
觀測器材 CEP 值	15M	方向散佈 LEP	15~5M
操作(位移)時間	5 '	威力範圍	40~80M
試驗次數	100 次	操作時間	5 ' ~ 3 '
航向偏角 β	$\pm 15^\circ$, $\pm 30^\circ$		
射擊門數	4		
放列間隔縱深	50M		
砲目夾角	45°		
威力範圍	40		
本表參數除威力範圍(r)與操作時間 t 須實際實驗獲得外，餘均可透過射表、準則或任務狀況所需設定。			

表 3 課題一參數表

三、分析結果

(一)火砲精度對射擊效果之影響如表 4、5、6，就整體射擊效果而言，最高的命中率出現在最小之方向及距離散佈組合（15-15），其值分別為 0.17 及 0.32 如表 4 灰色部份，而最小的命中率方向及距離散佈組合為(15-55)其值為 0.13 及 0.26 如表 4 綠色部分；為進一步分析

當散佈差減少對射擊效果所提升助益，引用「命中率增加指標」²¹，在分別固定距離散佈差 55M、方向散佈差為 15M 為標準水準下，分析散佈差減少對命中率的「增加率」(表 5、6)，就距離散佈而言，除在(15-35)及(10-15)兩組表 5 灰色部份，其值為負外，餘各組其值均為正值，代表整體而言「距離散佈差減少有助於命中率的增加」，而 25M 增加率相對最高且無 0 或負值，相較其它散佈差水準為最具命中效益的距離散佈水準；若單就方向散佈而言(表 6)，此狀況則不明顯，因為當方向散佈差由 15M 提升至 5M 的水準時，命中率增加指標為 0 或負值比例頗高，「代表整體而言方向散佈減少不見得對命中率產生增加的效果」，探究原因可能為「在群射彈著中心點方向無偏差狀況下，各砲個別方向散佈誤差對不確定性的活動目標命中率影響有限」，且彈著方向散佈過於集中反而會降低對目標命中可能性(命中率增率為負)，可以用「亂槍打鳥」比喻此一現象。基於上述分析就現有選項而言，方向及距離散佈差規格訂於 15 及 25M 對命中率增加最具效益。但命中率及毀傷率無法滿足作戰需求，必須另尋途徑提升火力效果。

²¹ 命中率增加指標(每 5 公尺)=[(散佈差減少組命中率-標準組命中率)/(標準組散佈差-減少組散佈差)]x5

方向散佈差(M)	統計參數	距離散佈差(M)									
		55		45		35		25		15	
		低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則
15	命中率	0.13	0.26	0.14	0.27	0.12	0.28	0.16	0.31	0.17	0.32
	平均毀傷率	0.458	0.374	0.413	0.363	0.475	0.338	0.46	0.383	0.39	0.42
10	命中率	0.14	0.27	0.14	0.28	0.14	0.28	0.16	0.31	0.13	0.33
	平均毀傷率	0.43	0.357	0.444	0.374	0.44	0.357	0.445	0.387	0.454	0.394
5	命中率	0.14	0.27	0.14	0.28	0.14	0.28	0.15	0.32	0.15	0.33
	平均毀傷率	0.44	0.364	0.478	0.388	0.44	0.36	0.487	0.391	0.513	0.39

表 4 課題一/(一)輸出參數表

方向散佈差(M)	統計參數	距離散佈差(M)									
		55		45		35		25		15	
		低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則
15	距離散佈差每	0	0	0.005	0.005	-0.0025	0.005	0.005	0.008333	0.005	0.0075
10	減少5M命中率	0	0	0.005	0.005	0	0.0025	0.003333	0.006667	-0.00125	0.02375
5	增加率	0	0	0	0.005	0	0.0025	0.001667	0.008333	0.00125	0.0075

表 5 距離散佈差-命中率增加指標統計表（5M）

方向散佈差(M)	統計參數	距離散佈差(M)									
		55		45		35		25		15	
		低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則
15	方向散佈差每	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	減少5M命中率	0.01	0.01	0	0.01	0.02	0	0	0	-0.04	0.01
5	增加率	0.005	0.005	0	0.005	0.01	0	-0.005	0.005	-0.01	0.005

表 6 方向散佈差-命中率增加指標統計表（5M）

(二)延續以上分析結果，將方向及距離散佈差規格訂於最具效益 15 及 25M，模擬單發射彈威力範圍半徑由 40M 增加至 80M，以每 10M 為一單位，分析對火力效果之影響，發現增加最初的 10 公尺，對射擊命中率最為顯著，對低規則性及部分規則性目標可增加 0.03（3%）及 0.05(5%)的命中率，就總體平均而言射彈威力半徑每增加 10M 對低規則性目標可增加 0.015(1.5%)的命中率，對部分規則性目標則可

增加 0.0225(2.25%)的命中率，且命中平均毀傷率亦有遞增的現象，惟對低規則性目標仍然無法滿足所定作戰需求。

方向及距離散佈差(M)	統計參數	單發射彈威力範圍半徑(M)									
		40		50		60		70		80	
		低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則
(15-25)	命中率	0.16	0.31	0.19	0.36	0.2	0.37	0.21	0.39	0.22	0.4
	平均毀傷率	0.565	0.478	0.68	0.565	0.767	0.664	0.826	0.726	0.4	0.787

表 7 課題一/(二)輸出參數表

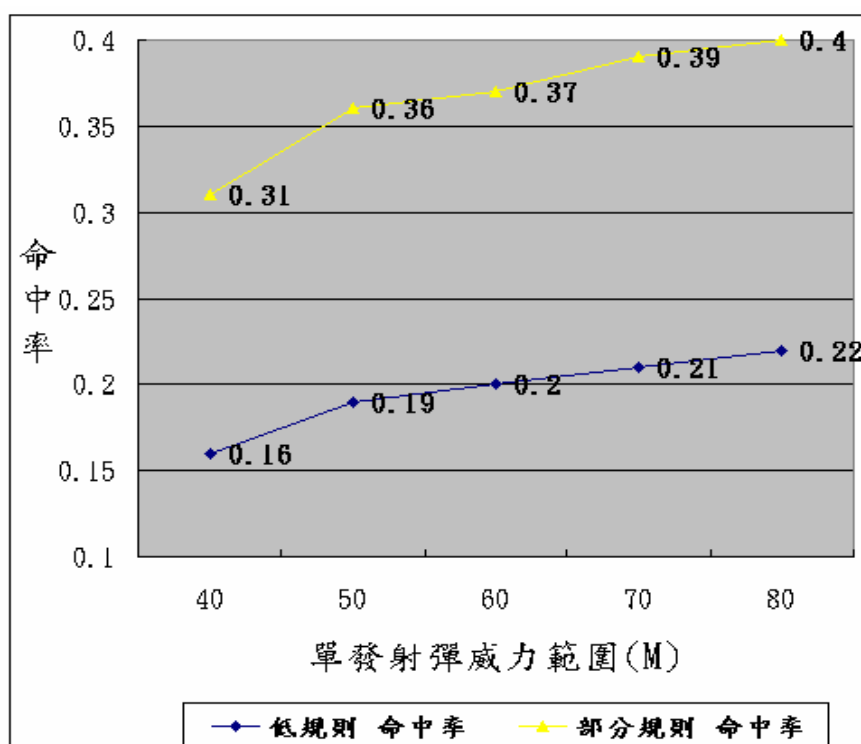


圖 10 單發射彈威力範圍（半徑）與命中率關係圖

(三)繼續以上分析結果，將方向及距離散佈差規格訂於 15 及 25M，單發射彈威力範圍半徑由 40M 增至 80M，分析不同射擊操作時間下對火力效果之影響，射擊操作時間分別為由 300sec 減為 240sec 及 180sec，結果如附表 6、7 及圖 13。由表 7 可發現就當射擊操作時間由 300sec 減為 240sec 時，平均命中率增加 266.7%，操作時間減為 180sec 時

平均命中率增加 361%。因此為滿足作戰需求建議單發射彈威力範圍

半徑至少須 60M 以上，射擊操作時間不得超過 180 秒，可達到 30%

的以上的命中率，40%命中平均毀傷率之火力效果。

射擊操作 時間 (sec)	統計參數	單發射彈威力範圍半徑(M)									
		40		50		60		70		80	
		低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則	低規則	部分規則
300	命中率	0.16	0.31	0.19	0.36	0.2	0.37	0.21	0.39	0.22	0.4
	平均毀傷率	0.565	0.478	0.68	0.565	0.767	0.664	0.826	0.726	0.4	0.787
240	命中率	0.21	0.35	0.23	0.38	0.24	0.45	0.27	0.48	0.31	0.53
	平均毀傷率	0.538	0.452	0.675	0.595	0.779	0.634	0.797	0.697	0.775	0.71
180	命中率	0.27	0.45	0.31	0.45	0.33	0.58	0.35	0.68	0.38	0.71
	平均毀傷率	0.55	0.397	0.638	0.494	0.693	0.617	0.746	0.6349	0.778	0.7146

表 8 課題一/(三)輸出參數表

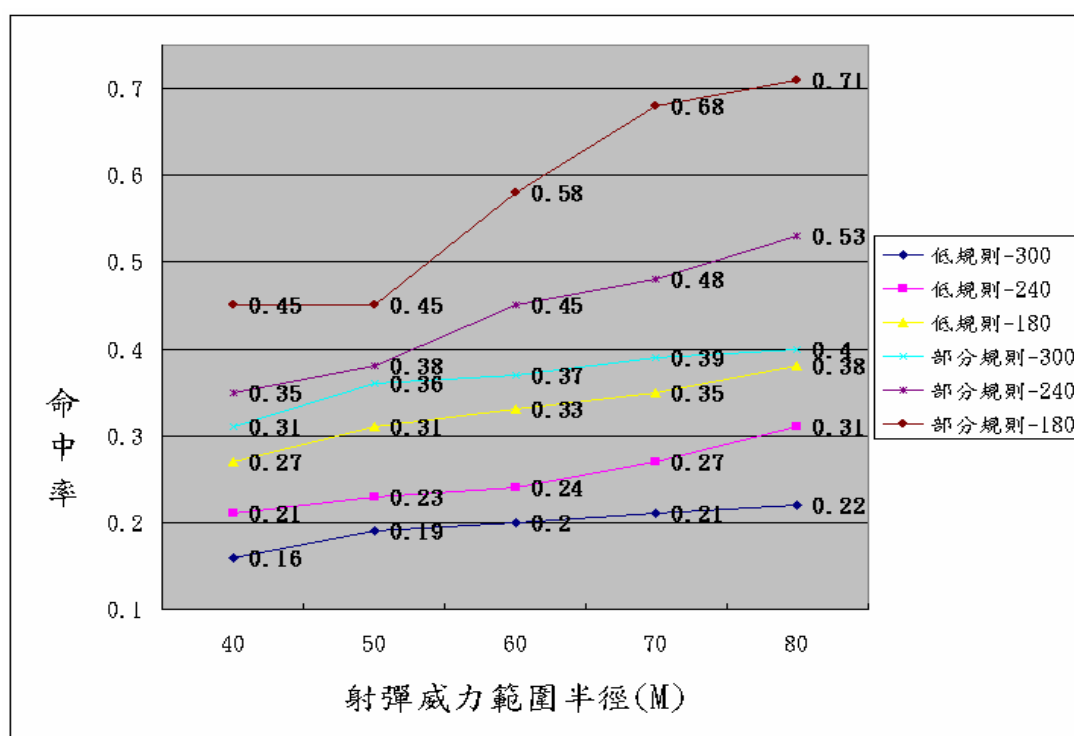


圖 11 各操作時間下單發射彈威力範圍（半徑）與命中率關係圖

射擊操作時間(sec)	命中率增量/射彈威力範圍增量(10M)		平均命中率增量比
	低規則	部分規則	
300	0.015	0.0225	
240	0.08	0.045	
180	0.095	0.065	
命中率增量比(240_300)	433.3%	100.0%	266.7%
命中率增量比(180_300)	533.3%	188.9%	361.1%

表 9 各操作時間下命中率與射彈範圍邊際增加量統計表

課題二準則制定與方案推演

一、用途

在砲兵戰鬥支援方案推演過程中，分析選擇適合之火砲放列陣地或作為相關作戰準則制定之依據。

二、實例分析

某推演中，敵分別可能以 LST、LSM 為載具登陸防區，指揮官希望於指定海域上就能運用砲兵予以射擊，參二研判由此海域中心點與預期登陸點垂線 $\pm 30^\circ$ 扇形以內皆為可能的艦艇航向。現有甲、乙二處射擊陣地(一)選擇何處陣地射擊效果較佳？(二)若另有一友軍目獲定位手段，定位精度為 60 公尺(CEP)，情資延遲時間為 30 秒；(三)若律定每次射擊時，皆以最大射速同諸元射擊 2~3 群；等狀況下對火力效果影響為何？相關參數如附表：

基本參數		控制參數（變項）	
艦艇航速	10 節	甲陣地	
艦艇尺寸	LST:110M	放列間隔縱深	50M
	LCM:60M	砲目夾角	0°
	LCU:30m	距離散佈 LEP	48M
觀測器材 CEP 值	15M	方向散佈 LEP	17M
位移時間	300sec	乙陣地	
試驗次數	100 次	放列間隔縱深	50M
航向偏角 β	$\pm 30^\circ$	砲目夾角	30°
射擊門數	4	距離散佈 LEP	38M
威力範圍半徑	40M（假設）	方向散佈 LEP	12M
最大射速	15sec	友軍目獲手段	
		CEP	120M
		資訊延遲時間	30sec
本表參數除威力範圍(r)與操作時間 t 須實際實驗獲得外，餘均可透過射表、準則或任務狀況所需設定。			

表 10 課題二參數表

三、分析結果

(一)由表 9 可看出甲陣地有較佳之命中率，而乙陣地有較佳之命中平均毀傷率，若能接受命中後目標後平均 50%以上的目標毀傷水準，則甲陣地為較佳的放列陣地。

陣地	統計參數	艦艇尺寸		
		LST	LCM	LCU
		航向低規則 ($\beta = \pm 30^\circ$)	航向低規則 ($\beta = \pm 30^\circ$)	航向低規則 ($\beta = \pm 30^\circ$)
甲(0°)	命中率	0.16	0.14	0.1
	命中平均毀傷率	0.475	0.51	0.643
乙(30°)	命中率	0.13	0.09	0.09
	命中平均毀傷率	0.54	0.76	0.85

表 11 課題二/(一)輸出參數表

(二)表 10 黑粗體部分為在運用友軍目獲手段下之射擊效果，與表 9 觀察

比較，可知對 LST 及 LCU 命中率下降接近 50%，而中型尺寸之 LCM 命中率更高由 0.14 降為 0.05 降幅 73%。

(三)同諸元多群射擊結果同表 10，可發現以最大射速每隔 15sec 射擊 1 群，第 1、2 群相互間之效果差異不大（降幅約 0.2~0.25%），但至射擊第 3 群（延時 30sec）時，射彈對各型目標命中率及毀傷率驟降趨近於 0，代表持續射擊至第 3 群時不具火力效果，因此建議對目標同諸元最大射速射擊最多射擊 2 群。

同諸元射擊群數	統計參數	艦艇尺寸		
		LST	LCM	LCU
		航向低規則 ($\beta = \pm 30^\circ$)	航向低規則 ($\beta = \pm 30^\circ$)	航向低規則 ($\beta = \pm 30^\circ$)
第 1 群(330s)	命中率	0.08	0.05	0.04
	命中平均毀傷率	0.4	0.615	0.678
第 2 群(345s)	命中率	0.06	0.04	0.04
	命中平均毀傷率	0.37	0.615	0.67
第 3 群(400s)	命中率	接近 0		
	命中平均毀傷率	-	-	-
陣地	甲(0°)			
觀測精度	CEP=120M			
每群射擊間隔時間	15sec			

表 12 課題二/(二)、(三) 輸出參數表

陸、結論

由上述模式建構的說明與實例分析的結果，可以獲得以下結論：

- 一、本研究所建構的模擬模式可用於求算砲兵水上目標射擊的效果，並可將其運算結果進一步運用於作戰需求規格、準則制定與方案推演等課題之

決策分析。

- 二、本模式運算所需之參數，除單發射彈對目標之威力範圍 r 與射擊操作時間 t 為現階段無法獲得外，餘均可透過射表、準則或任務狀況所需獲得，因此建議國軍未來能重視此關鍵參數 r 與 t 價值，能實際透過建案編列經費實驗蒐集獲得。
- 三、由課題實証可知，在射擊單位數量不增加下，欲增加水上目標射擊的效果，可透過以四方面的手段，1 為增加火砲精度、2 為增加射彈威力範圍、3 為縮短射擊操作時間、4 為增加目標定位精度，其中增加火砲精度對射擊效果的增加較為有限，餘均為可行方案選項。
- 四、由課題一表 4、5、6 統計比較可知，若能有效將目標艦艇航向的可能性由 $\pm 30^\circ$ 縮小為 $\pm 15^\circ$ 範圍以內，則命中率將增加近 1 倍，間接反應出兵要蒐集與情報判斷在火力效果上的價值與重要性。

作者簡介：

許午少校，陸官 83 年班，野砲正規班 175 期，國防管理學院資源管理研究所 21 期，歷練連長、連絡官、現任陸軍飛彈砲兵學校戰術組教官。