

離散事件模擬器應用於砲兵泊地攻擊火力效益分析

孟昭宇* 劉達生** 段伴虬*** 鄧世剛****

*開南管理學院資訊管理系

**國防大學中正理工學院國防科學研究所

***南開技術學院資訊工程系

****國防大學中正理工學院兵器工程系

摘 要

砲兵向來為地面火力之骨幹，以地面部隊為探討主體的反登陸作戰的泊地攻擊想定中，作戰程序區分為泊地攻擊（包含反舟波攻擊）、灘岸戰鬥及反擊作戰。在泊地攻擊階段如何有效運用砲兵火力，一方面削弱登灘敵軍兵力，一方面保留部分砲兵兵力以遂行後續作戰，實為值得探討的重要課題。為解決此一作戰議題，採用的研究方法綜合了作業研究中的離散事件模擬、實驗設計與迴歸分析，深入探討構成砲兵火力的四個要素與四項作戰效能之間的關連性。以十六種火力要素策略組合為例進行分析，獲致此十六種策略組合中，採用具有泊地攻擊能力的砲兵編裝，投入 1/3，採用最大射速與混合彈藥配比可獲得較佳的殲敵成果，且可保存 2/3 的砲兵遂行後續灘岸及反擊作戰。最後以假設性的問題說明前述研究方法之綜合應用能有效提升對實際軍事問題的分析、決策，甚至最佳化的處理能力。

關鍵字：砲兵，反登陸作戰，離散事件模擬，迴歸

Analysis on Artillery Fire Power, a Discrete Time Simulator Application

Jau-Yeu Menq^{*}, Ta-Sheng Liu^{**}, Pan-Chio Tuan^{***}, and Shi-Gan Deng^{****}

^{*}*Dept. of Information Management, Kainan University*

^{**}*Graduate Institute of Defense Sciences, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University*

^{***}*Dept. of Computer Science & Information Engineering, Nan Kai Institute of Technology*

^{****}*Dept. of Weapon System Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University*

ABSTRACT

It is critical to neutralize as much as possible the landing forces as well as to reserve certain portion of artillery fire power for follow-on fire support missions in counter amphibious landing operation. To solve the contradictory proposition a composite methodology of operations research applications is adopted and it integrates discrete time simulation, regression and experimental design. Through the proposed methodology the relationships among four fire power elements—TO&E, active ratio, fire rate and shells mix ratio— and four outcome attributes are clarified. An example of sixteen alternatives is discussed and quantitative information is revealed to support combat decision making.

Keywords: artillery, anti-amphibious-landing operation, discrete-time simulation, regression

文稿收件日期 94.09.28; 文稿修正後接受日期 95.05.29.

Manuscript received September 28, 2005; revised May 29, 2006.

一、前言

睽度戰史，登陸戰是跨越海洋屏障投注武力開啓戰場必須採取的作戰手段。上個世紀發生了至少十次具有規模的登陸作戰，包含了一次大戰英法對加利波利半島(Gallipoli)登陸、二戰盟軍對北非(North Africa)、西西里(Sicily)及諾曼地(Normandy)登陸、美軍在太平洋戰場的瓜達爾卡納爾島(Guadalcanal)、硫磺島(Iwo Jima)及沖繩島(Okinawa)登陸、1950 年韓戰美軍的仁川(Inchon)登陸及 1982 年英軍福克蘭島(Falkland 或 Mal Vinas)登陸[1]。

在登陸作戰中，攻擊方的目的是在佔領灘頭堡、展開兵力進行地面作戰[2]。依據過去的演訓想定[3]，正規登陸作戰基本上區分為五個階段：準備階段、集結與裝載、海上航渡、突擊上陸及鞏固登陸場。在突擊上陸階段，攻擊方的作業又可區分四個步驟：卸載換乘、登陸艇編波、海上舟波及突擊舟波。

在整個登陸作戰中，登陸方一般會區分多梯次登陸，通常第一梯次是以制式輪具在火力掩護下運送部分兵力進行掃障、登岸，搶佔、建立、擴大並鞏固灘頭堡。在確保灘頭堡穩固之後，後續梯隊則視潮汐，以制式輪具或非正規登陸方式上岸，在集結整備後遂行陸上戰鬥。

防禦方的作戰主要有三個階段，分別是制空、制海及反登陸。防禦方必須有效運用地面、海面及空中武力以削弱登陸方登陸武力、遲滯登陸行動、擊潰上陸兵力。從防禦方的戰術觀點來看，反登陸階段可區分為三個步驟：泊地(含舟波)攻擊、灘岸戰鬥，最後是反擊作戰；能否抵擋第一梯次的登岸行動，是防禦方能否阻止侵略的重要契機，而反擊作戰則是反登陸勝敗的決勝關鍵。

爲了降低登陸作戰的傷亡及確保登陸作業遂行，攻擊方在登陸前會奪取制空及制海權，進行火力準備，並爲登陸提供必要的火力掩護及支援。在此情況下，砲兵可能是防禦方僅存的遠程火力。因此在反登陸作戰中，砲兵的運用顯得格外關鍵。更明確的說，問題在於如何有效的運用砲兵在泊地攻擊時盡可能削弱攻擊方的登岸戰力，同時保留最大的火力以備後續灘岸戰鬥與反擊作戰決勝之用。攻擊及防禦雙方各階段及步驟之間的互動關係顯示如表 1。

本文的重點在於泊地攻擊階段，該階段包含了反舟波攻擊，即表 1 灰色部分。整體來看，泊地攻擊涉及了多兵種，如步兵、裝甲兵及砲兵等，本文則聚焦在探討砲兵在泊地攻擊及舟波攻擊的角色，試圖找出相關火力因子與雙方戰損(戰果)之間的關連性。

基於過去演訓經驗認爲砲兵在反登陸作戰可以提供充分火力。然而如何運用砲兵火力，需要模式的驗證與數據的支持。或許是因爲問題的複雜性，登陸作戰鮮少在軍事模式模擬中探討，更缺乏泊地攻擊中砲兵運用最佳化的研究。在過去的研究中，僅 T. N. Dupuy 所提出的定量判定法(Quantified Judgment Method of Analysis, QJMA)以水岸易損因子(Shoreline Vulnerability Factor)修正渡水一方的作戰潛力(Combat Power)[4]，屬較明確的論述。

爲了探討泊地攻擊砲兵火力運用最佳化的問題，綜合了作業研究領域中模擬、實驗設計與迴歸分析的方法。首先以離散事件模擬方法撰寫砲兵泊地攻擊模擬器，作爲模擬數據蒐集工具，並以十六組策略組合爲例，進行模擬及數據蒐集；依據獲得的數據進行迴歸，再以迴歸模式作爲討論砲兵泊地攻擊火力運用最佳化的決策參考。

一般而言，建立作戰模式有四個途徑[5]：以經驗為基礎的解析模型：藍撒斯特模型是其中的典型。其次是定量的經驗模式：定量判定法(Quantified Judgment Model, QJM)是其中的典範。接著是實驗統計模式，以統計方法對歷史或實驗數據進行分析。最後是理論模型，如對局論。

藍撒斯特模型與定量判定法屬於聚合式模式適合大規模地面作戰的描述，與登陸作戰間存在差異性。且對國軍而言，前者有關登陸戰殺傷率參數尚待研究。而對局論的應用則受限於損益表在現實中取得不易；因此採取實驗統計模式探討研究主題。

此外，登陸艇的速度是固定的，與防禦方的火力無關，除非被擊沈或動力受損，這與地面作戰中的戰鬥前緣線(Forward Edge of Battle Area, FEBA 線)推移的特性不同。疏散因子與地面作戰也大異其趣，登陸艇散佈海面，但艇內的人員與裝備卻非常集中，一枚落彈可能摧毀所有艇內的酬載。而多對多離散事件模擬正適合用來描述這類型的交戰細節。

當代電腦與模擬程式取得容易，有了高效率的計算能力，建構複雜系統的模式是可行的也成了主要的途徑與趨勢[6]。當整個作戰的模型被建立起來，作戰的實景被重現，可以修改系統參數（如武器特性或交戰準則）並觀察系統行為，進而可以分析甚至設計作戰系統。

表 1. 登陸與反登陸作戰程序

防禦方 作戰程序 登陸階段	制空	制海	反登陸		
			泊地 攻擊	灘岸 戰鬥	反擊 作戰
準備階段	√	√			
集結與裝載	√	√			
海上航渡	√	√			
突擊上陸	√	√	√	√	
鞏固登陸場	√	√			√

二、研究內容與方法：

2.1 想定：

由於討論重點在登陸第一梯隊於泊地換乘作業開始到突擊上陸這段時間，探討的主題則是防禦方砲兵的運用。配合研究主體作戰想定如下：

攻防雙方均無空中火力投入。

防禦方無海軍火力投入，攻擊方則有火力艦支援。

防禦方只有陸軍砲兵營實施泊地及反舟波射擊，不考慮步兵、裝甲兵、攻擊直昇機及岸基飛彈等兵種火力。

防禦方確知登陸正面，並可偵知登陸作業的進程。

假設攻方第一登陸梯隊規模為：人員約一萬四千餘人、坦克約八十輛、火砲約八十門、車輛約三百五十輛、各型登陸艦約四十五艘、各式登陸艇約二百艘、火力支援艦包含驅逐艦及護衛艦共約四十艘。

2.2 討論範圍：

為了描述整個想定及攻守雙方的互動關係，模擬程序涵蓋了下列幾個部分。

模擬實體(Entities)包含了砲兵營、砲兵連或火箭排、單一火砲或火箭、登陸艦、登陸艇、火力支援艦、砲彈（火箭彈）及子母彈中的子彈。其中登陸艇依據裝載表賦予所裝載的人員與裝備；其他與模擬相關之屬性（如射程、射速、彈幕範圍、殺傷範圍、目標尺寸等）也同時賦予各模擬實體。

在登陸程序中，諸如海軍艦砲火力準備射擊、登陸艦卸載、人員換乘、登陸艇運動、登陸艇編波及上陸等程序也逐一循序描述；攻擊方登陸程序如圖1所示。另一方面，防禦方砲

兵部署與責任區帶劃分如圖2所示。

若防禦方砲兵射程可達泊地，則於登陸艦卸載時開始對泊地區登陸艦射擊，並於登陸艇波進入責任範圍時，對艇波射擊。登陸一方的火力準備與對砲兵陣地射擊則依照中共艦砲使用手冊[7]之規範進行模擬。

模擬過程中蒐集數據包含：登陸艦、登陸艇、火力艦與砲兵武器之戰損及彈藥消耗量。

在掌握攻擊方的登陸程序與防禦方砲兵運用的基本原則後，首先將砲兵火力區分為四個組成要素：編裝、投入比、射速及彈藥配比；並以此四個要素構成決策空間。

編裝：綜合了砲兵武器的性能與數量，藉以比較編裝差異對作戰結果的影響。在後續的範例討論中，將比較兩種編裝；除了武器數量不同外，其兩種編裝的主要差異在於射程是否可以涵蓋泊地區域。

投入比的主要目的在於比較不同投入的比例（是否保存部分砲兵兵力）對作戰雙方的戰損影響程度如何。在問題討論中區分為三分之一及全數投入二個選項。

射速則區分為持續射速與最大射速進行比較。最後彈藥配比則用於釐清不同彈種的搭配有何影響；範例中以全數採用瞬發引信高爆彈(HE)或高爆彈與子母彈各半的彈藥配比兩種配比進行比較。

2.3 假設：

對於火砲殺傷效果的估算所要考慮的因素很多，即使不考慮射擊精度的問題（影響精度的因素又可區分為初速誤差、起始擾動、氣象、測量與彈道模型等幾部分[8]），影響砲彈最終殺傷效果的因素則包含了毀傷機制（爆震波、碎片、動能、溫度等）、彈道參數（如彈著角度（瞬發引信）或炸高（時間引信）、威力參數（如砲彈碎片的數量、大小、分佈型態

或子母彈數量及佈灑範圍）等[9]；另一方面還要考慮所針對目標的類型（步兵、掩體、兵器或建築物）與姿態（立姿、臥姿或掩蔽）等。

為了使複雜的砲彈殺傷效果估算能在作戰中簡易快速的運用，對不同類型目標的火砲殺傷效果多由大量實彈射擊所獲得參數，以數值方式來呈現，如美軍未公開的聯合彈藥效果手冊 (JMEM, Joint Munitions Effectiveness Manuals [10])及中共已公開的數據表[11]。

在國軍相關參數欠缺的情況下，參照國軍實務上運用砲兵時對砲彈殺傷及彈幕分佈範圍均以矩形描述的方式，在模擬器中以平面座標系統表示實體相對位置，並令艦艇火砲、彈幕及砲彈殺傷範圍為矩形。準此，戰損估算方式如圖3。

整個作戰過程中充滿了隨機性，例如泊地前沿距離灘岸約 X_1 - X_2 海裡、登陸艦之間距離約 Y_1 - Y_2 公里、艇波距離 Z_1 - Z_2 公尺、航道寬 P_1 - P_2 公尺、航道間隔 Q_1 - Q_2 公尺、彈幕中心點在目標區內的位置或彈著點在彈幕內的分佈都有其分佈的樣態。模擬器中除了彈幕內的砲彈落點假設為均等分配外，其餘均採截尾常態分配，截尾常態分配示意如圖4。

2.4 研究方法：

從系統角度來看，離散事件模擬著重在系統中實體(entity)、屬性(attribute)、關連性(relationship)、決策變數與輸出(output)之間的互動關係。在事件(event)的發生時觀察系統特性的變化，作為研究、分析甚至於設計系統的工具。

為了獲得可靠有效的實驗（模擬）數據，運用離散事件模擬的觀念以SimScript II.5模擬語言在個人電腦上依據登陸與防禦砲兵運用程序，建立砲兵泊地及反舟波攻擊的作戰模擬程式，作為實驗數據蒐集的工具。

在進行模擬之前，先以DesignExpert套裝軟體輔助實驗設計，並作為模擬數據蒐集的依據。當模擬數據蒐集完整後，對模擬結果進行迴歸分析，產生迴歸模式藉以描述作戰系統輸入與輸出的關係。進一步提供砲兵泊地攻擊火力運用的決策輔助資訊。研究流程如圖5所示。

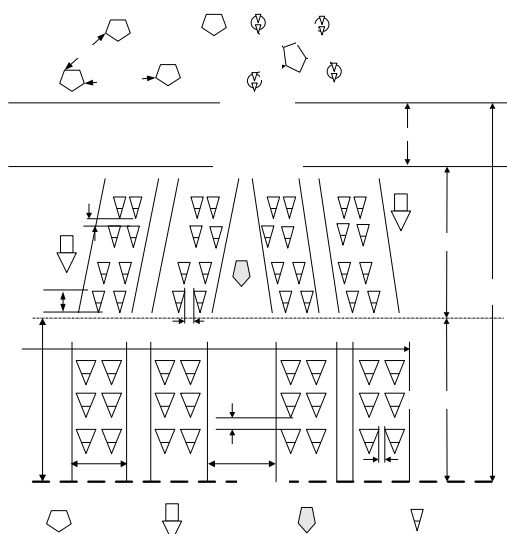


圖 1. 攻擊方登陸程序示意圖。

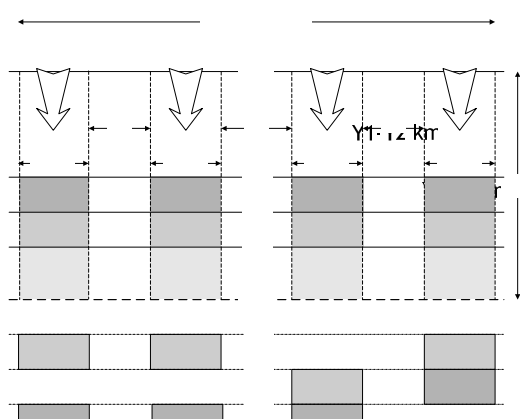


圖2. 防禦方砲兵部署與責任區帶示意圖。
XXXX-XXXXm

2.5 SimScript II.5簡介[12]：

SimScript II.5 是具有相當便利的高階模擬語言。在離散模擬中事件的發生與 process 執行由語言內部的 Time Routine 及 Pending List 控制，可以大幅減輕程式撰寫負擔，讓程式設

計者專注於對作戰程序的描述。

為了獲得可靠有效的實驗（模擬）數據，運用離散事件模擬的觀念以SimScript II.5模擬語言在PC電腦上依據登陸與防禦砲兵運用程序，建立砲兵泊地及反舟波攻擊的作戰模擬程式，作為實驗數據蒐集的工具。

在進行模擬之前，先以DesignExpert套裝軟體輔助實驗設計，並作為模擬數據蒐集的依據。當模擬數據蒐集完整後，對模擬結果進行迴歸分析，產生迴歸模式藉以描述作戰系統輸入與輸出的關係。進一步提供砲兵泊地攻擊火力運用的決策輔助資訊。研究流程如圖5所示。

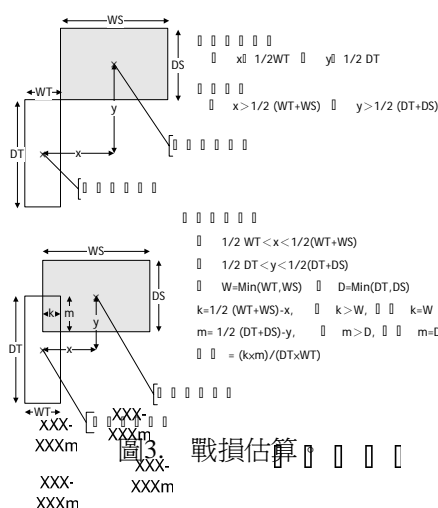


圖3. 戰損估算

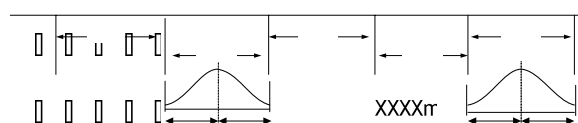


圖4. 截尾常態分配。

2.6 模擬程式說明：

模擬程式功能流程如圖6，其中防禦方對泊地及舟波的火砲射擊以同一程序(process)描述，功能方塊編號均為5。

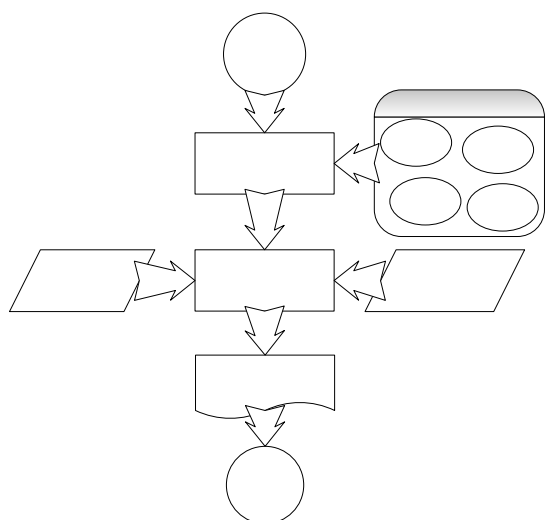


圖5. 研究流程圖。

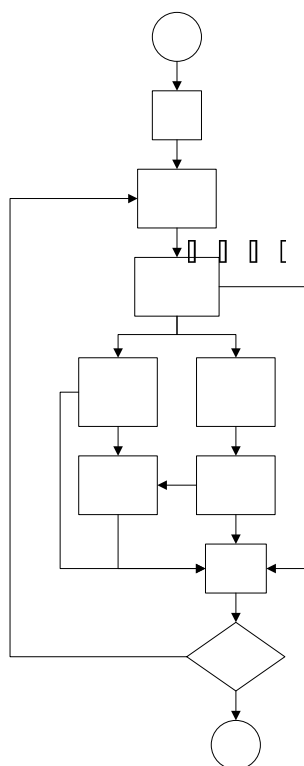


圖6. 功能流程圖。

(1) 輸入：

由使用者選擇編裝、投入比例、射速及彈藥配比等策略組合。此外，登陸方火力準備開始時間及模擬次數也由使用者輸入。所有相關的砲兵編裝、火砲、彈藥、登陸艦艇及火力艦的相關性能均以資料檔方式儲存與維護，完成

選項輸入後，在「初始化」功能中相關屬性即被讀入模擬程式中備用。

(2) 初始化：

此功能賦予系統初始狀態，包含泊地及艇波會合區的產生、建立永久實體、讀入實體的性能諸元及艦艇裝載表，將裝載表賦予各艘登陸艦艇。將火力支援艦區分為十個單位，分屬四個火力支援艦群。砲兵武器則區分為投入與預備兩個部分，並編組為作戰單位；將責任區帶賦予所有投入任務的砲兵營。之後即產生登陸艦、火力支援艦、砲兵武器的初始座標。

(3) 登陸方火力準備射擊：

火力準備射擊開始於換乘作業開始前的給定時間（由使用者輸入）。射擊區域、射擊區帶劃分、每一區帶射擊時間長度與停止射擊時間均依照艦砲使用手冊或演習想定的規範模擬。每次射擊均進行守方砲兵戰損計算。在卸載換乘程序未開始前，防禦方砲兵不開火射擊。

(4) 登陸艦卸載：

登陸作業開始時由登陸艦釋出登陸艇，人員進行登艇換乘。依照登陸程序，所有登陸艇必須在指定時間內由登陸艦內駛入海面，同時修訂登陸艦的裝載量，並賦予登陸艇初始座標，修訂相關屬性並啟動人員換乘程序。

由登陸艦卸載的登陸艇若裝載表內包含需要換乘的人員，則運動到艦舷開始人員換乘，需要換乘的時間依各艇人數而異。

換乘完畢或不需換乘的登陸艇會繞行登陸艦，等待進入會合區編波。所有卸載及換乘作業結束後，登陸艇朝向會合區內預定的編波位置運動，完成編波後即朝向灘岸運動。登陸艇於會合區進行編波時，區分四航道，每航道八個舟波。

(5) 防禦方砲兵射擊：

守方砲兵的火力射擊共有三個部分：對泊

地射擊、對責任區帶內的艇波射擊、遭攻方反砲擊時的對火力支援艦反擊。

對泊地區域攻擊：當守方砲兵武器射程可達泊地時，在卸載及換乘作業開始時以砲兵連或火箭排為單位以給定的射速對射程內登陸艦擇一射擊，火砲單位射擊時間持續若干分鐘，火箭單位則在指定時間內將架上火箭射完後裝填。每次射擊都會計算彈幕區內目標的戰損。完成射擊後進行次一射擊任務。

艇波攻擊：當艇波進入責任區帶內且砲兵單位已完成前一射擊任務並完成再裝填時，則對責任區帶內進行預置彈幕射擊。

對火力艦反擊：當砲兵營所屬的某一單位陣地遭到火力支援艦反砲擊時，該砲兵營由所屬火力單位中擇一對該火力艦單位進行反擊。但一個砲兵營最多只能有一個火力單位執行反擊任務。

(6) 登陸方火力艦反砲擊：

攻方火力艦的反砲擊是由守方砲兵對泊地或艇波攻擊所觸發。當登陸艦或艇波被攻擊時，守方砲兵陣地同時暴露，火力艦群即由所屬火力艦單位擇一對該陣地射擊。首先依砲兵陣地面積大小及艦砲對岸射擊彈藥消耗量ⁱ計算所需發射的砲彈發數，當射擊發數足夠時則恢復原先的火力準備射擊或等候新的射擊任務。

(7) 戰損估算：

所有火砲射擊均會進入戰損估算。首先在目標區域依火力單位的特性產生彈幕區，若是子母彈則還要再產生子母彈的子彈佈灑範圍，接著在彈幕或子母彈灑佈範圍內產生砲彈或子彈的彈著點。依目標的狀態取得座標，再依彈頭或子彈的殺傷範圍與目標物的相對位置計算戰損。

ⁱ 同參考文獻[7]。

三、問題：

目前反登陸作戰中砲兵火力支援任務以「泊地攻擊」為最優先，目前作法中四個火力要素分別為：編裝一（如表2）、全數投入、持續射速與全部使用高爆彈。但基於作戰考量，擬提高灘岸戰鬥及反擊作戰兩階段的火力支援優先。參謀作業提出四個方案以解決提高灘岸戰鬥與反擊作戰火力支援優先後的火力支援需求：

- O1. 引入新式砲兵武器(以表2之編裝二提高整體火力，滿足各階段火力需求)。
- O2. 泊地攻擊階段僅投入1/3（保留2/3支應灘岸戰鬥與反擊作戰火力需求）。
- O3. 於泊地攻擊階段改用最大射速（以提高對敵火力艦、登陸艇及登陸人員殺傷，降低我方火砲損失並減少後續階段的火力需求）。
- O4. 採游子母彈，修改彈藥配比為高爆彈與子母彈各半（以提高對敵火力艦、登陸艇及登陸部隊殺傷，降低我方火砲損失並減少後續階段的火力需求）。

表 2. 砲兵編裝選項

編碼	火砲型式	營數	每營單位數	每單位武器數	總數	備考
A- 編裝一	155H,SP	x	x	x		
	8"H,SP	x	x	x	xx	
	Rocket 1	x	x	x		
A+ 編裝二	105H 155H	x	x	x	xx	
	155H, SP Rocket 2	x	x	x	xx	混合 砲兵營
	155H, SP	x	x	x	xx	

武器數量已被「x」取代。

砲兵指揮官基於前述四項參謀建議，提出下列問題：

- Q1. 改變編裝的投資成本高，能獲得多大作戰效益？

- Q2. 泊地攻擊為反登陸作戰的第一階段，若保留2/3火力留作灘岸戰鬥與反擊作戰之用，提高射速與改變彈藥配比能否彌補火力缺口？
- Q3. 火炮長時間採用最大射速射擊，容易造成火炮損壞，是否值得？
- Q4. 採用殺傷效益較高的子母彈能增加多少作戰效益？
- Q5. 能否從四個方案中組合出最佳方案？
- Q6. 若投入1/2時，結果如何？

四、研究程序：

為解決前述砲兵指揮官的決策問題，採用前述第二節的研究方法進行研究。

4.1 實驗前實驗設計：

依據 3.1 節的四個方案(O1~O4)與目前作法將四個火力要素依資料特性整理如表 3，由於四個火力要素均各有兩個選項。其中投入比(B)可視為定量(quantitative)，在實務上，因砲兵武器投入最小單位為 1 門，因此投入比應為不連續的分數，如 1/6, 1/3, 1/2, 2/3, 5/6 及 1，但在本問題中僅有 1/3(B-)及 1(B+)兩個選項。其餘三項火力要素均為定性(qualitative)(以「高低」或「有無」的描述，以+1 及-1 表示)。適合採用 2^k factorial design 的實驗設計[13]。將四個火力要素組合成 16 個待執行的實驗，並隨機排序出實驗順序如表 4。

將表3火力要素視為實驗的投入(factor)，作戰中敵我雙方相關的作戰能力則可定義為產出(response)，如下：

1. **Artillery:** 為我方砲兵武器存活百分比 ($100 \times$ 火炮存活數量 / 編裝內火炮總數)，代表我方砲兵可用於後續灘岸

戰鬥與反擊作戰的火力支援能力。

2. **Fighter:** 敵方火力支援艦損失百分比 ($100 \times$ 火力支援艦損失數 / 初始火力支援艦總數)，代表敵方後續對我方砲兵造成損傷的能力。
3. **Craft:** 敵方登陸艇損失百分比 ($100 \times$ 登陸艇損失數 / 初始登陸艇總數)，代表敵方後續運輸登陸部隊登岸的能力。
4. **Troops:** 敵方登陸人員損失百分比 ($100 \times$ 登陸人員損失數 / 初始登陸人員總數)，代表此一泊地攻擊階段後，敵於灘岸所建立的作戰能力。

表 3. 火力要素編碼

等級(level) 投入(factor)	L	H	備考
	-1	1	轉換後的 coded factor level
編裝 (A)	— (A-)	— (A+)	兩種編裝分別代表泊地攻擊能力的有無(前者無，後者有)
投入比 (B)	1/3 (B-)	1 (B+)	可以是數值，兩個選項：投入 1/3 或全部投入
射速 (C)	持續 (C-)	最大 (C+)	各型武器射速不同 整體區分為持續與最大兩種
彈藥配比 (D)	高爆彈 (D-)	高爆及 子母彈 (D+)	只採用高爆彈或採用高爆彈與子母彈各 50%

表 4. 實驗排序

實驗序	編裝	投入比	射速	彈藥配比
1	編裝一	1	持續	僅高爆彈
2	編裝一	1	持續	高爆、子母彈各半
3	編裝一	1/3	持續	僅高爆彈
4	編裝二	1	最大	高爆、子母彈各半
5	編裝二	1/3	最大	高爆、子母彈各半
6	編裝二	1/3	持續	高爆、子母彈各半
7	編裝一	1	最大	高爆、子母彈各半
8	編裝一	1	最大	僅高爆彈
9	編裝二	1/3	持續	僅高爆彈
10	編裝一	1/3	最大	高爆、子母彈各半
11	編裝二	1	持續	高爆、子母彈各半
12	編裝二	1	持續	僅高爆彈
13	編裝一	1/3	持續	高爆、子母彈各半
14	編裝二	1/3	最大	僅高爆彈
15	編裝二	1	最大	僅高爆彈
16	編裝一	1/3	最大	僅高爆彈

4.2 實驗數據蒐集：

在確定採用 2^k factorial design的實驗設計方法及投入(factor)及產出(response)後，以2.6節所撰寫之模擬程式依表4.的實驗順序進行實驗數據蒐集。首先必須決定各實驗的初始暫態(initial transient state)，並捨棄初始暫態區間內的實驗數據，以便取得穩定的實驗數據，提高可信度。初次採樣時，各實驗採樣500次(500 replications)，以移動平均法[14]經繪圖判讀後決定初始暫態，各實驗產出的移動平均間隔與初始暫態長度(採樣次數, replication)如表5.，其中最大的初始暫態長度為300；因此，僅蒐集各實驗第301個採樣之後的100個採樣數據作為分析之用。

表 5. 移動平均間隔與初始暫態長度

產出 實驗序	Artillery		Fighter		Craft		Troops		初始暫態 長度
	w	l	w	l	w	l	w	l	
1	30	150	60	150	50	100	50	150	150
2	60	80	60	100	60	80	30	60	100
3	50	120	100	170	60	100	90	120	170
4	60	120	50	100	60	120	60	100	120
5	60	250	60	300	60	280	60	260	300
6	100	250	100	170	60	250	60	100	250
7	60	180	60	180	80	150	60	100	180
8	60	220	50	120	60	120	60	100	220
9	60	150	60	100	80	220	60	150	220
10	60	120	60	240	60	260	60	180	260
11	100	150	60	90	60	150	60	120	150
12	60	150	80	250	60	120	60	120	250
13	60	180	60	100	60	120	60	140	180
14	60	120	60	170	60	150	60	100	170
15	60	120	60	190	60	120	60	180	190
16	60	100	60	100	80	180	100	150	180

w: 各產出之移動平均間隔。
l: 各產出之初始暫態長度。

4.3 實驗數據分析與迴歸結果：

研究的最終目的在：依據實驗數據獲得自然且直觀的數學描述，而迴歸模式正適合這樣

的目的ⁱⁱ。在迴歸模式的選用上，以不對產出作函數轉換(transform)為原則，取得具有足夠解釋力的迴歸式。將1600個實驗數據(16組實驗，每組實驗採樣100次)輸入DesignExpert作為分析樣本，並依據前述之選用原則獲得各產出(如4.1節之定義)的迴歸式如第(1)-(4)式，迴歸式涵蓋了對各產出作用顯著(significant)的投入項及高階交互項。

$$\begin{aligned} \text{Artillery} = & 49.41 + 0.42A - 19.72B + 2.08C + 0.49D \\ & + 0.43AB + 1.61AC + 1.93BC + 0.3BD \\ & + 1.52ABC - 0.5ACD - 0.69ABCD \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Fighter} = & 14.08 + 10.68A + 3.74B + 4.42C + 4.04D \\ & + 3.5AB + 3.24AC + 2.37AD \\ & + 1.82BC - 0.84BD \\ & + 1.52ABC - 0.97ABD - 0.91ACD \\ & - 1.61BCD - 1.97ABCD \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Craft} = & 56.25 + 15.12A + 14.13B + 11.32C + 11.13D \\ & + 0.47AB - 2.16AC - 3.53AD + 0.74CD \\ & - 1.31ABC - 2.01ABD - 1.75ACD \\ & - 3.68BCD - 0.88ABCD \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Troops} = & 64.65 + 15.98A + 12.85B + 9.45C + 9.97D \\ & - 3.1AC - 4.02AD \\ & - 0.96BC - 0.97BD + 3.03CD \\ & - 1.62ABC - 2.01ABD - 1.13ACD \\ & - 2.12BCD \end{aligned} \quad (4)$$

各產出的不顯著項如表6.。各迴歸式的適用性指標比較如表7.，顯示第(1)-(4)式的迴歸模式對投入及產出關係之描述具有相當高的解釋力ⁱⁱⁱ。如此高的解釋力可能是因為模擬的假設造成的，當較實際之參數與影響加入時，解釋力可能會降低一些。

ⁱⁱ 參考文獻[13]，Ch.6, p.223。

ⁱⁱⁱ 參考文獻[13]，Ch. 3，pp.105-106 及 Ch. 10，pp.411-419。

表6. 不顯著項列表

產出	不顯著項
Artillery	AD, CD, ABD, BCD
Fighter	CD
Craft	BC, BD
Troops	AB, ABCD

顯著性 (significance level, P-value 或 Prob.(P>F)) > 0.05 則判斷為「不顯著」。

表7. 各迴歸式適用性指標

產出	R^2	R^2_{adj}	R^2_{pred}	$Prec_{adeq}$
Artillery	0.9300	0.9295	0.9288	96.928
Fighter	0.8977	0.8968	0.8956	85.876
Craft	0.9650	0.9647	0.9643	173.148
Troops	0.9632	0.9629	0.9625	171.000

五、討論：

5.1 投入與產出：

火力要素的綜合作用以立方圖及交互作用圖表示如圖7至10。立方圖之數據為各迴歸模式求出的計算值。X軸為射速（C-代表持續射速、C+代表最大射速），Y軸為投入比（B-代表投入1/3、B+代表全數投入），Z軸則為彈藥配比（D-代表只採用高爆彈、D+則高爆及子母彈各半）。交互作用圖中雙箭頭線段為採樣值的的分佈區間，而虛線代表投入比為1/3(B-)的變化方向，實線則是投入比為1(B+)的變化方向。

由圖7可以看出投入1/3(B-)時砲兵存活比約70%，亦即投入的砲兵幾乎全數被殲滅，而全數投入(B+)時，砲兵存活比約30%，表示約2/3的砲兵被殲滅。此外，編裝(A)與彈藥配比(D)對防禦方的火砲存活比的影響並不如投入比(B)與射速(C)顯著。就現有編裝(A-)而言，射速(C)對砲兵存活比並沒有顯著的作用；在新編裝(A+)中以最大射速(C+)可以期望獲得較高的砲兵存活比。

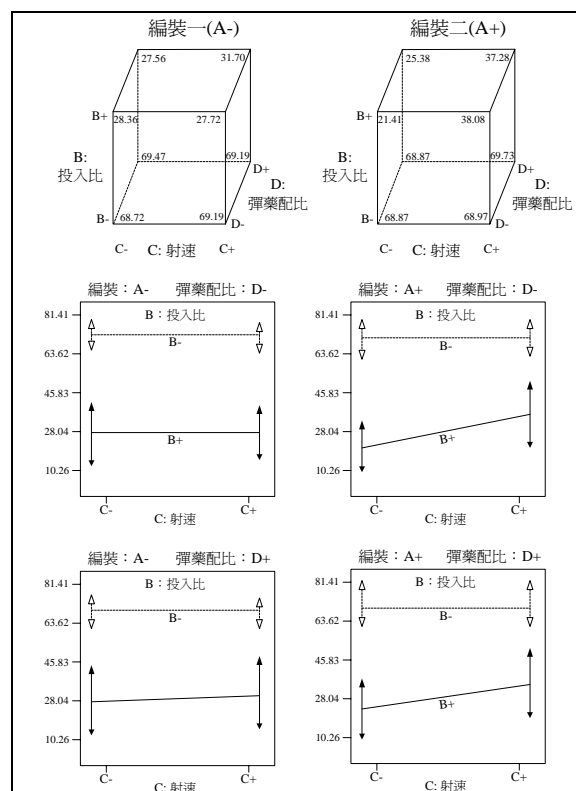


圖7. 火砲存活% (Artillery)。

由交互作用圖中可比較出全數投入(B+)時砲兵存活比的變異範圍明顯較投入1/3(B-)時為大；若同為投入1/3(B-)，新編裝(A+)時的變異較舊編裝(A-)為大。其主要原因判斷為：

1. 投入 1/3(B-) 時砲兵的損失上限為 33%，不論其他的投入項為何，被摧毀的砲兵已接近上限，因此變異較全數投入(B+)時為小。
2. 新編裝(A+)較舊編裝(A-)能擊毀更多的火力艦，使被摧毀的砲兵的變異增大。

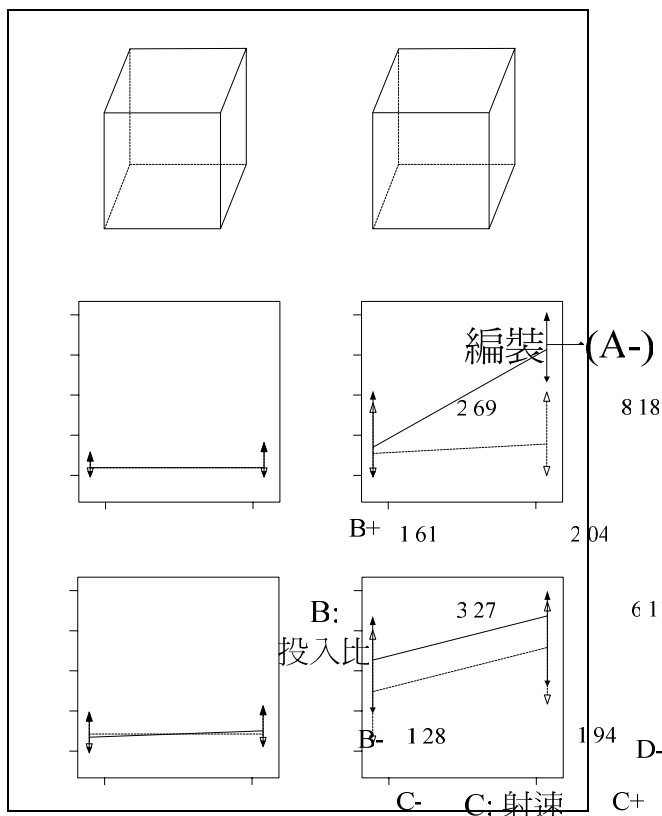


圖 8. 火力艦損失% (Fighter)。

圖8顯示不論投入多少或採用何種射速(C)與彈藥配比(D)，現有編裝(A-)幾乎對登陸方的火力艦不造成威脅，但仍有機會擊毀若干艘火力艦。採用新編裝(A+)且僅使用高爆彈(D-)時，若將砲兵全數投入(B+)，則可明顯提升對火力艦的損失；若新編裝(A+)搭配50%的子母彈(D+)，平均而言全數投入(B+)比投入1/3(B-)增加約10%的火力艦損失。

在對登陸艇殺傷效果方面，圖9顯示現有編裝(A-)若採用混和彈藥(D+)且以最大射速對擊(C+)登陸艇殺傷成果可以獲得較明顯的提升；在相同條件下，將砲兵全數投入(B+)，也能獲致明顯提升；尤其在採用混和彈種(D+)、最大射速(C+)並全數投入(B+)時，可以期望獲得與新編裝(A+)在相同條件下(D+, C+, B+)接近的殺傷成果。在新編裝(A+)中，有三個情形登陸艇損失接近上限，且變異範圍非常小(D-, C+, B+、D+, C-, B+與D+, C+, B+)，顯示有火

力過剩形成浪費的可能性。

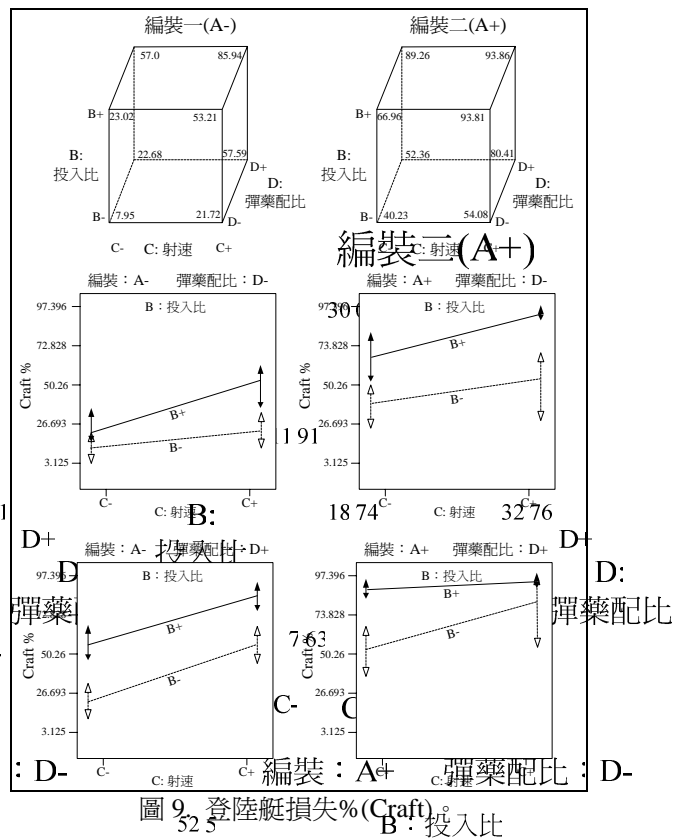
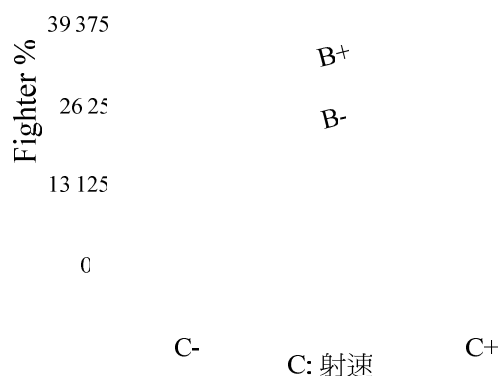


圖 9. 登陸艇損失% (Craft)。

圖10與圖9的趨勢相當接近，從迴歸式(第(3)及(4)式)也可以看出兩者近似；且相同條件下圖10的平均值(立方圖)則略高於圖9。其原因是由於登陸人員(Troops)大部分時間位於登陸艇內，致使兩者關連性高；此外，登陸艇的戰損必須累積至一定標準方被判定為「擊毀」方計入登陸艇損失(Craft)內，而人員只要位於砲彈殺傷範圍內即被判定為登陸人員損失(Troops)，因此圖10中立方圖的值略高於圖9中火力過剩的可能性也存在于圖10。



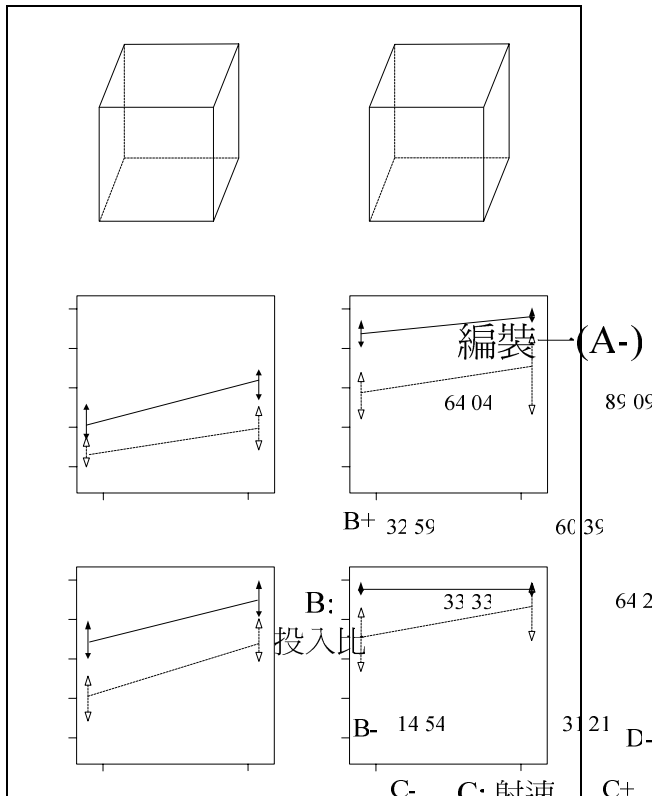


圖 10. 登陸人員損失%(Troops)。

圖7至圖10說明了依據四種解決方案(第三節O1~O4)組合出的十六組投入組合與實驗產出之間的關係。從防禦方立場來看,希望保留最大的砲兵火力以支應後續灘岸戰鬥與反擊作戰,也希望將登陸方的後續火力(Fighter)、運輸能力(Craft)與灘岸作戰能力(Troops)儘可能降低。基於前述概念,可以繪出有利立方圖(Desirability Cube Graph)協助較佳方案組合的選擇,如圖11。

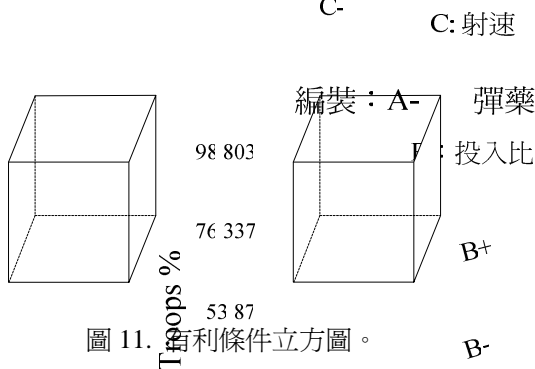


圖 11. 有利條件立方圖。

$$\text{coded factor level} = \frac{\text{natural factor level} - (\text{natural level}_{\text{LOW}} + \text{natural level}_{\text{HIGH}})/2}{(\text{natural level}_{\text{HIGH}} - \text{natural level}_{\text{LOW}})/2} \quad (5)$$

表8. 投入比=1/2時的產出估計

項次	Coded factor level				產出估計值(%)			
	編裝 A	投入比 B	射速 C	彈藥配比 D	Artillery	Fighter	Craft	Troops
1	-1	-0.5	-1	-1	58.62	1.38	11.71	21.78
2	-1	-0.5	-1	+1	58.99	3.13	31.24	38.28
3	-1	-0.5	+1	-1	58.80	2.58	20.58	35.78
4	-1	-0.5	+1	+1	59.83	6.65	64.67	73.16
5	+1	-0.5	-1	-1	57.26	8.72	46.92	62.09
6	+1	-0.5	-1	+1	58.01	21.59	61.59	71.05
7	+1	-0.5	+1	-1	61.26	18.94	64.01	71.45
8	+1	-0.5	+1	+1	61.63	35.33	83.76	92.25

此外,第(1)-(4)式的迴歸模式可以協助估計不同投入比(B)的產出,由於迴歸式已將投入項(factor)加以標準化(-1到+1),因此在D:彈藥配比中若想知道投入比1/2(natural factor level)的產出時,可將投入比(1/2)依第(5)式標準化為B(coded factor level)即可得B=-0.5,代入第(1)-(4)式得產出的估計值如表8立方圖。

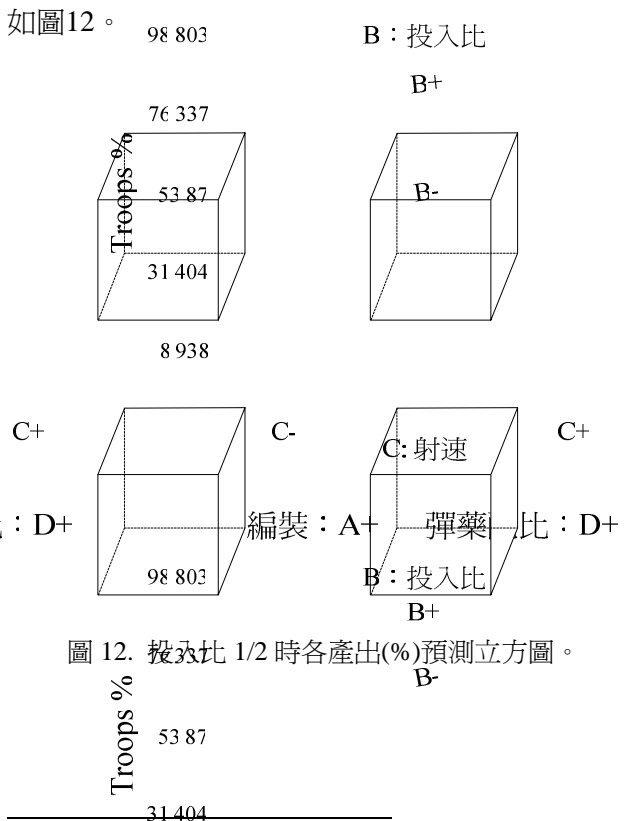


圖 12. 投入比 1/2 時各產出(%)預測立方圖。

iv 參考文獻[13], p.224。

5.2 問題探討：

經由前述的研究過程所蒐集的資料及分析結果，應可解答第三節中指揮官提出的六個問題。

- A.1 編裝改變對守方砲兵存活比的作用不大，而對火力艦、登陸艇及登陸人員的作用較明顯，前提是需配合適當的投入比、射速與彈藥配比。例如，採用新編裝(A+)、高爆彈(D-)時，若僅投入1/3(B-)，對火力艦的殺傷(Fighter)並沒有提昇的效果（如圖8）。此外，即使維持現有編裝(A-)，若能妥善運用砲兵火力，亦能使作戰效果大幅提昇。例如，在現有編裝下(A-)，若採用混和彈種(D+)，配合最大射速(C+)也能大幅提昇對登陸艇(Craft)及登陸人員(Troops)的殺傷效果（如圖9及10）。因此，並不一定要採用新編裝，妥善運用現有編裝也能提昇作戰效能。
- A.2 在現有編裝(A-)並保留2/3(B-)的前提下，同時採用最大射速(C+)與混和彈種(D+)，對登陸艇及登陸人員的殺傷而言，不僅能彌補火力缺口的，更期望提昇約20%的成果（圖9及10）。對火力艦的殺傷而言，是否保留砲兵火力，沒有顯著影響（圖8）。
- A.3 從圖7觀察，當投入1/3時(B-)，幾乎投入的砲兵全數被殲滅（總共存活約70%）；而全數投入時(B+)，也僅約存活20-40%，其餘大部分被火力艦摧毀。這種情況下，與其被敵火摧毀，不如在被摧毀前以最大射速發揮最大火力攻擊登陸敵人。
- A.4 在大部分的情況下（以現有編裝(A-)

對火力艦殺傷效果例外），混和彈藥配比(D+)需與最大射速(C+)搭配運用，可以發揮較大的功效。例如圖9中以現有編裝(A-)、投入1/3(B-)，採用最大射速(C+)及混和彈藥(D+)，對登陸艇的殺傷效果可期望提高約30%（相對於持續射速(C-)與只採用高爆彈(D-)）。

- A5. 由圖11可以看出，在不改變編裝的情況下(A-)，不論投入比為1/3(B-)或全部(B+)，最大射速(C+)配合混和彈藥(D+)可獲得較佳的戰果（有利條件值0.44）。若採用新編裝(A+)，則有三種方案組合的作戰結果接近（有利條件值分別為0.74, 0.74與0.78）。較佳方案組合如表9。
- A6. 在迴歸模式的輔助下，將投入比值依第(5)式標準化後代入第(1)-(4)式可預測當投入比為1/2時的各項產出，如表8及圖12。

就現有編裝來看（表9，項次1及2），兩者對火力艦(Fighter)的殺傷能力不足，仍使守方砲兵面臨較強的火力威脅。項次1方案組合以較低的砲兵存活比(Artillery)（砲兵損失較大）換取灘岸部隊(Troops)及運輸能力(Craft)大幅降低，減低了後續階段的火力需求。而項次2則保留了較高的砲兵火力，因應後續較大的威脅。兩者似乎難分軒輊。表9中項次3, 4, 5均可望大幅減低登陸部隊後續登陸運輸能力(Craft)及敵方灘岸兵力(Troops)，並可將登陸方的攻擊火力(Fighter)削弱至30-40%。而項次3則可望保留近70%的砲兵火力，可視為三者中較佳的方案組合。

表9. 較佳方案組合與產出

方案組合 (投入)					產出			
項次	編裝	投入比	射速	彈藥配比	Artillery	Fighter	Craft	Troops
1	A-	B+	C+	D+	31.70	8.18	85.94	89.10
2	A-	B-	C+	D+	69.19	6.11	57.59	64.21
3	A+	B-	C+	D+	69.73	32.76	80.41	86.94
4	A+	B+	C+	D+	37.28	43.11	93.86	97.29
5	A+	B+	C+	D-	38.08	42.89	93.81	97.25

六、結論：

基於決策輔助的需求，在已知作戰想定的情況下，綜合運用作業研究方法，以離散事件模擬器詳盡描述砲兵泊地攻擊中攻防雙方的互動過程，再輔以實驗設計及迴歸分析工具，比定性的戰術探討提供了更深入且詳盡作戰內涵；也進一步提供可作為決策參考的作戰特性，經過問題解答演示，證實所提出的研究方法與程序可有效解決此一作戰類型的決策問題。

依據本研究的方法與程序，針對所列舉方案組合，重要結論摘述如下：

1. 泊地攻擊時若妥善運用砲兵武器(投入比、射速及彈藥配比)可以將現有編裝內的武器效能作更大的發揮，並不一定需要更新武器系統。
2. 在現有編裝下，選擇投入三分之一的砲兵時，若配合最大射速與高爆彈及子母彈各半的彈藥配比，不僅能彌補火力缺口，更可望提昇20%的效益。
3. 不論編裝與投入比如何，採用最大射速及混合彈藥配比，一般而言可以獲得較佳的作戰結果。
4. 防禦方砲兵的存活比與編裝、射速及彈藥配比關係非常不明顯，但與投入比相關性極高，投入三分之一損失約30%（投入部分幾乎全被摧毀），全數投入則損失約70%。
5. 十六個方案組合中列出五項較佳方

案，可提供不同作戰考量下的決策參考。

6. 透過迴歸式可對定量性質的投入比(B)進行產出的估計。

雖然本研究提出了有效的砲兵泊地攻擊問題的研究架構，但仍有許多實際參數並未納入，因此以簡單的假設進行模擬。尚有諸多基礎研究及參數數據待深入探討，如建立國軍砲兵殺傷效果參數資料可以改進彈幕範圍的描述及戰損估算的機制。此外，討論範圍可擴及陸基反艦飛彈及戰車砲等直射武器，均是未來在此一問題上可以深入探討的研究方向。最後，中共近年大力開發大型氣墊船及翼地效應載具[15]，未來若大量部署，將改變登陸作戰的樣態，值得國軍注意。

參考文獻

- [1]李杰，登陸戰—特殊條件下的進攻，中國北京，海洋出版社，pp.4-132，1998。
- [2]中共海軍水面艦艇學院編，海軍戰術下冊，p. 114，1984。
- [3]陸軍砲兵飛彈學校，“漢光十一號演習檢討本軍砲兵執行聯合泊地攻擊之研究”，pp.5-6，1994。
- [4]Dupuy, T. N., Numbers, Predictions and War, Revised Ed., Fairfax, Virginia, HERO Books, Ch. 3, p.37 & App. A, p.231, 1985.
- [5]中共編，高科技在軍事領域的應用及對作戰的影響，中國北京，八一出版社，第十章，pp.209-210，1993。
- [6]Taylor, J. G., Force-on-Force Attrition Modelling, Monterey, California, Naval Postgraduate School, Ch. 3, p.13, 1980.
- [7]中共海軍司令部編，艦砲戰鬥使用手冊，第

三章，pp. 252-254，1988。

- [8]郭錫福，遠程火炮射擊精度分析，中國北京，國防工業出版社，第二章，p.26，2003。
- [9]張廷良，陳立新，地地彈道式戰術導彈效能分析，中國北京，國防工業出版社，pp.202-203，2001。
- [10]Martin, J. A., “A Model for Optimizing Field Artillery Fire”，Ms. Thesis, Monterey, California, Naval Postgraduate School, p.34, 1989.
- [11]張野鵬，作戰模擬基礎，中國北京，高等教育出版社，第六章，pp.162-165，2004。
- [12] Russell, E. C., Building Simulation Models with SIMSCRIPT II.5, La Jolla, California, Inc. CACI, 1999.
- [13] Montgomery, D. C., Design and Analysis of Experiments, 5th Ed., New York, John Wiley & Sons, Ch.6, p.218, 2001.
- [14] Law, A. M. and Kelton, W. D., Simulation Modeling and Analysis, 3rd Ed., McGraw-Hill Book Co., Ch.9, pp.518-527, 2000.
- [15]林長盛，“中共台海戰爭兩棲登陸軍力”，林中斌主編，廟算台海—新世紀海峽戰略態勢，台北，台灣學生書局，第八章，pp. 385-392，2002。