

海軍防空作戰 模擬模式比較性研究

A Comparative Study of Naval Task Group Air Defense Operations

海軍上校 盛培智

提 要：

- 一、臺灣為一個海島型國家，國家生存的關鍵因素即為海上交通線的確保，因此，海軍在臺澎防衛作戰中扮演著舉足輕重的角色，並且在臺澎防衛作戰中，關係到海上交通線維護與聯合截擊作戰之成敗，而艦隊防空作戰的成敗攸關整體艦隊的存活。因此，艦隊防空作戰是一種講求整體戰力發揮的作戰，採取積極之作為，方可在面對嚴峻考驗中，提升艦隊存活率。
- 二、在本研究中，我們是以不同的支(艦)隊組合為研究探討的主軸，對於不同兵力的投入以及火力分配來探討戰損率；本研究參考美國海軍作戰分析(Naval Operations Analysis)，採馬可夫鏈理論架構以Matlab程式建模，藉程式運算結果與圖形分析多波次威脅與不同防空武器性能下相對作戰能力，分析人員可藉本模式與延伸性防空模擬分析模式(Eadsim)比對、並以馬可夫鏈防禦對戰模式驗證研究是否符合模擬實況，來探討兩軍作戰在一定的限制下其戰鬥過程的戰損，做為海軍特遣支隊兵、火力的配置之決策參考方向，發揮整體戰力。

關鍵詞：馬可夫鏈、延伸性防空模擬分析模式、戰損率、縱深防禦、防空

Abstract

1. Taiwan is an island country, the key to survive is to protect the sea transportation route, therefore the navy is playing a very important role in Taiwan Defense Operation, and within the Taiwan Defense Operation, will influence the success or failure of keeping the sea transportation route and Joint Pursuit Operation, the success or failure of fleet anti-air operation will influence the survival of

the whole fleet. Therefore, the fleet anti-air operation is an operation of integrated combat capability elaboration, which take active actions in order to confront the severe situations to raise the fleet survival.

2. In this research will discuss the different fleet combinations confronting different enemy forces and the distribution of fire power in order to evaluate the damage rate. This research take reference of US Navy Naval Operations Analysis, which adopt the Markov chain theory as structure using Matlab modelings, by program and graghic evaluations to analyze the operation capability within multi-wave of threats and anti-air weapon systems. The analyst can use this model to check up with Eadsim, and using the Markov defense opposition model to verify whether conform with the actual simulated situations, to discuss the damage of a combat process of two opponent forces in a certain restrain, in order to provide a decision making guidance to deploy navy task force and weapon system distribution to elaborate the integrated combat caccapability.

Keyword: Markov chain, Eadsim, damage rate, deep defense, anti-air defense.

壹、緒論

一、研究背景

海軍特遣支隊艦隊編隊的防空作戰是一個複雜問題，探索性分析正是適宜解決這一難題的方法論，它可以通過模型建構的定量探索，在深入細節之前對問題有個廣度的瞭解，依照探索性分析的思想，從宏觀層次描述艦艇編隊區域防空問題；基於延伸式防空模擬分析模式軟體工具(Extended Air Defense Simulation, Eadsim)，建立了此一

問題的高層分析模型，並進行了簡要的探索分析。

中共空軍度過60年歲月，目前係以預警機及加油機配套的第三代戰機為主幹，戰力呈現跨時代提升，目前第四代戰機已於日前亮相，造成國際間軍事專家一片譁然，連美軍也不得不重視東亞情勢發展，甚至強化駐日本美軍能量(並部署全球之鷹)，可大幅提升戰略投送能力及做為特種飛機平臺，故此，現代空中制海遠距投射武器突防能力迅速提高，對支(艦)隊防空作戰影響甚鉅。



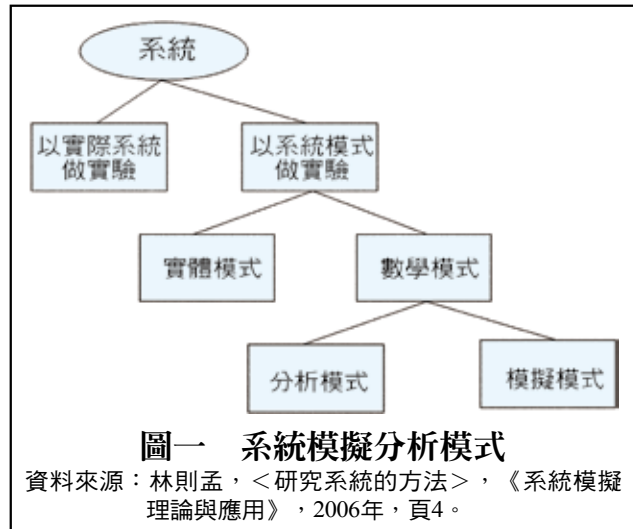
海軍特遣任務支(艦)隊須同時面臨空中、水面及水下多重威脅作戰，要能有效的發揮艦隊防空護衛，各類型作戰方可執行。海軍艦隊防空，目前藉由基隆級艦加入戰鬥序列後，在防空作為上，擴大偵蒐裝備距離，增加運用防空武器空間，相信將對敵空中攻擊將可採取更積極手段與措施。

二、研究動機

中共空軍自1949年建政以來，長年執行「國土防空」的戰略指導；之後曾配合「積極防禦」、「新時期軍事戰略方針」等戰略指導調整進行空軍建設方向之修正，包括：「積極防空、重點支援」，「重點防空、積極支援」，「重點防空、重點支援」，「積極防禦、靈活反應」，「有限威懾、積極打擊」等手段；過去中共機艦活動範圍，甚少逾越海峽中線或是侵犯專屬經濟水域，1996年後，這種情形出現根本性轉變；如1998年，中共約有400餘架次戰機於臺海中線以西巡弋，2005年激增至1,700餘架次，另中共海航兵力已部署俄羅斯SU-30MK II型，作戰半徑達600浬，將涵蓋臺灣周邊全部海域，我艦隊戰時存活面臨最嚴苛的考驗。

就學理而言，系統模擬乃模仿真實世界過程或系統中的操作性行為，主要透過電腦快速運算能力，來觀察操作隨著時間進行下，系統內各組成份子在相關資料下所產生的交互影響，以進行系統的推導，做為決策之參考，而本研究系統分析模式，則是藉由模擬方法於電腦中進行重複實驗進行最佳化分析(如圖一)。

因此，如何在艦隊防空作戰中，確保我



戰力完整、戰場資訊整合與戰場管理等都成為關鍵；本文希藉由Eadsim及馬可夫鏈模型數理模式探討雙方兵力作戰，以基隆級艦為主的各支隊防空作戰模式暨火力分配，並加入本軍各型主戰艦不同兵力組合搭配的變數，進行戰術編組分析驗證程式，並將其研究成果進行最佳化分析與比較，做為本研究動機。

三、研究目的

本文試圖考量空襲方與艦隊防空方的制空裝備作戰過程中的損耗率及戰系裝備的作戰效能，運用美軍現役模擬分析工具(Eadsim)系統模擬方法建立一套合理的特遣艦(支)隊防空任務編組數量需求模式，並與馬可夫鏈模型數學模型作出分析比較與修正，以突顯艦隊防空作戰在複雜作戰環境下防禦效能之問題，供海軍於未來制海作戰期間，如何編成特遣支隊任務編組最適決策，為本研究的目的。

四、研究假設

依據美國空軍準則AFDD2-1.1防禦性的



制空作戰(Defensive Counter Air)概念為：防禦與防護我方武力，免於敵方來自於空中及飛彈的攻擊。本軍水面艦艇防空飛彈及近迫武器系統結合的防空作戰中，由於防空飛彈對目標的毀傷概率高以及殺傷區大，傳統的反飛彈作戰方式係以防空飛彈為主，對於進入首要區的目標，改以近迫武器系統實施自衛反飛彈作戰；然而在目標對主體船團實施飽和攻擊環境下，這種反飛彈作戰方式無法完成對所有目標的攔截。因此，為了研究問題的方便，在建立模型之前進行部分戰術假設：

(一)防空飛彈及近迫武器系統方陣快砲砲彈平均飛行速度不會隨射程的變化而變化。

(二)防空飛彈及近迫武器系統方陣快砲火力單元對目標的毀傷概率為定值。

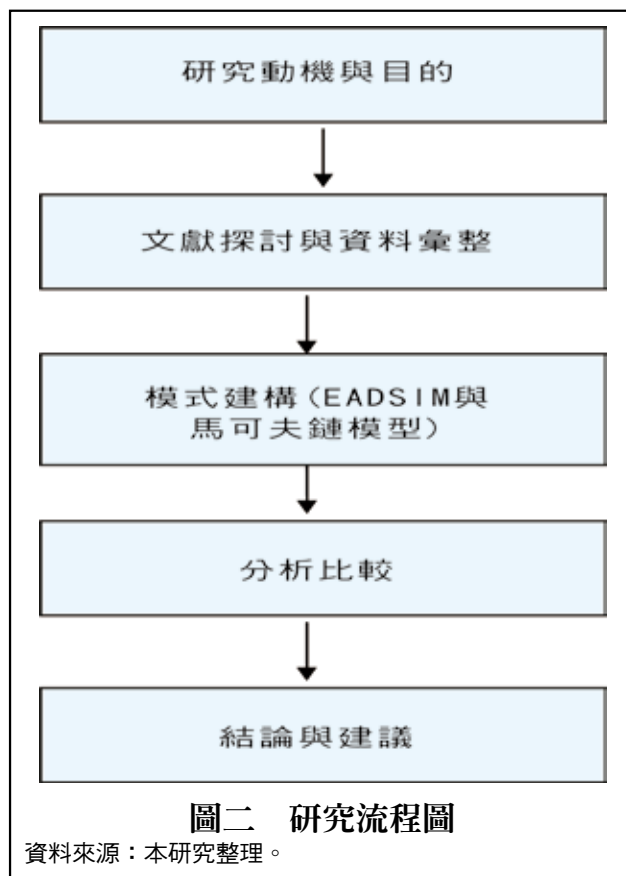
(三)防空飛彈火力單元與近迫武器系統火力單元之間不存在火力衝突問題，且飛彈與飛彈間亦無頻率干擾現象。

五、研究範圍與限制

本研究在過程上雖力求周延，然而，由於客觀因素限制，只能在有限的範圍下實驗，因此難免有若干限制，茲將本研究的研究範圍與限制說明如下：

(一)本研究以艦隊防空為主體探討海空作戰，在聯合防空構想下，只討論不同特遣任務編隊因應不同防禦層之來襲武力。

(二)《美國海軍作戰分析》(Naval Operations Analysis)第三版於1999年由美國海軍學院出版社(Naval Institute Press)出版，本書第13章介紹Fleet Air Warfare，本文僅單純引用書中區域防空作戰概念，



做為逐步分析與發展模式之理論依據。

(三)本研究是考量空襲方與防空方的武器裝備作戰過程中的損耗率及武器裝備系統的效能，估算我方最有效運用不同兵力編組而產生護衛船團(主體)遭敵飛彈突穿率(損耗)，若不考慮雙方交戰過程，則無法適用本研究的結果。

(四)系統模擬結果是估計值，因隨機性模擬(Stochastic simulation)結果具有變異性的估計值，故以統計學信賴區間的觀念來詮釋的話，即使是確定式模擬(Deterministic simulation)，若無法保證輸入資料的確定性，其模擬結果也是具有變異的估計值。



(五)本研究模擬之參數為避免洩密，引用資料均為詹氏年鑑一般性規格，且與現行制式裝備性能均不相同，係採用模擬數據。

六、研究流程

本研究之流程(如圖二所示)，首先確定研究動機及目的，進行相關文獻資料探討與資料彙整，建立本研究之模式建構(Eadsim與馬可夫鏈模型)，再進行分析比較，最後提出結論及建議。

貳、文獻探討

回顧有關威脅定量化及兵(火)力資源與配置問題的文獻相當多，大多均係將資源配置妥當及威脅定量化，並從火力參數戰損兩方面著手，但是經仔細詳閱有關文獻，大多均係陸基(戰)或野戰防空、戰區飛彈防禦系統、火炮系統及目標殺傷率之運用等文獻(如表一)，略以：

本研究除將前述因數考量納入於系統模擬設計內之外，更運用美軍現役模擬分析工具(Eadsim)系統模擬方法及馬可夫鏈模型數據資料作出分析與比較，並達成以下之目

的：

1. 探討任務編組(兵、火力配置)對作戰結果初步模擬分析。
2. 完成一個多艦且多艦型之模擬模型。
3. 對重要資產(主體兵力Main Body)防護的接戰準則：依資產重要性的等級或依到達資產位置之時間先後順序進行攔截，比較兩種接戰準則對不同兵力部署作戰結果的差異。

一、中共海航部隊戰術研析

為達成船艦於防空作戰中求勝之目的可預先進行下述兩種分析：

1. 武器獲得分析。
2. 戰術分析。

此兩者是可以同一方式解決之，即「建立一個將各防空武器與武器性能設定為變數之戰術分析模式」，在選用模式做分析時，若將防空武力與武器性能設定為現有之武器進行最佳化分析，即為戰術分析。

(一)中共海航部隊指揮體系

參照中共海軍戰術其指揮體系係採上、下兩級制，整體作戰行動由岸上及現場指揮

表一 相關文獻列表

作 者	年 份	摘 要
黎正興	1996	本研究係以孟昭宇「艦載短程防空武器系統防空模擬模型建構」，採用離散模擬法與Simscrip II. 5語言所建立單艦單攻擊軸之防空模擬基礎下，建立一個多艦之艦隊防空戰術模擬模型，做為海軍進行各種防空戰術最佳化分析之用。
孟昭宇、劉達生、段伴蚪、劉基全	2007	提出以多戰區、多波、雙層防禦、防禦能量與攔截器數量有限等為想定背景，並考量飛彈防禦陣地為敵攻擊目標，運用馬可夫鏈建模的基礎，加上一些模式處理方法，將該模式運用到較複雜的彈道飛彈防禦想定，以探討更複雜、更實際的飛彈防禦問題。
Jau-yeu Meng、Pan-chio、Tuan、Ta-sheng、Liu	2007	提出離散式馬可夫彈道飛彈防禦系統模型，採期望值方法來比較不同多層飛彈防禦問題(數個攔截器指向一個目標射擊)的策略或是射擊準則，不過，期望值無法涵蓋整個飛彈防禦系統的效能問題，供軍事及國安單位運用。本文係提供相關的機率分佈函數對於彈道飛彈防禦(BMD)來說，此方法可大幅節省分析成本。

資料來源：本研究整理。



分工負責，岸上指揮所下達政策指導要項，亦可直接指揮現場戰鬥兵力，現場指揮設置於戰術任務單位，原則上航空兵力突擊戰術單位在發現攻擊目標前接受岸基指揮，接觸目標後改由現場最高指揮戰術軍官指揮。

(二) 中共海航部隊攻擊戰法

攻擊各軸向避免飛彈頻率干擾，攻擊軸夾角需大於25度，兩舷分別以15° ~165°及195° ~345° 為最理想攻擊角度，第一波導彈攻擊以同時抵達目為原則，其攻擊方式如下：

1. 連續波飛彈攻擊。
2. 飽和飛彈攻擊。
3. 飽和與連續波飛彈攻擊。

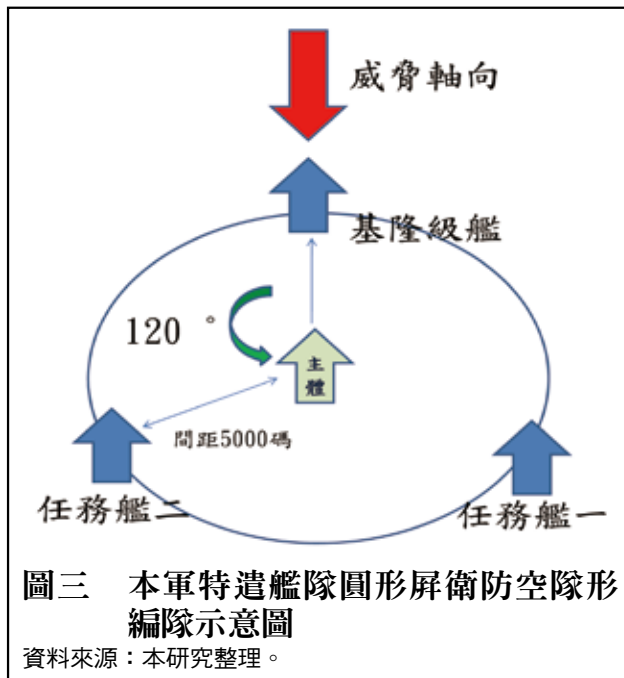
綜合分析：中共航空兵力突擊戰術單位，接受偵察兵力引導接敵，採多群配置，分別占領最佳攻擊陣位，在導彈最大射程實施分群機動、快打快撤戰法突擊。

二、本(海)軍戰術研析

在各種戰術組合下，求取戰果各指標之最佳化，而本軍防衛計畫就是要驗證防空戰術，影響防空戰術因素計6項：

1. 艦隊組成艦船之種類與數量。
2. 各艦船所擁有之防衛武力及其配置位置與數量。
3. 接敵時之防衛隊形及各艦間之距離。
4. 艦艏所對之位向。
5. 防衛扇區之分配。
6. 防衛優先順序之分配。

本次想定設計護航編隊以主體為中心，3艘護航艦位於距離5,000碼之同心圓上，每艘方位間隔120度，另依敵情威脅將基隆級



艦部署於威脅軸向，故於對付來襲之飛彈時，有可能會產生不同型艦有重覆攻擊之情形發生(如圖三)。

(一) 本(海)軍艦艇戰術配置

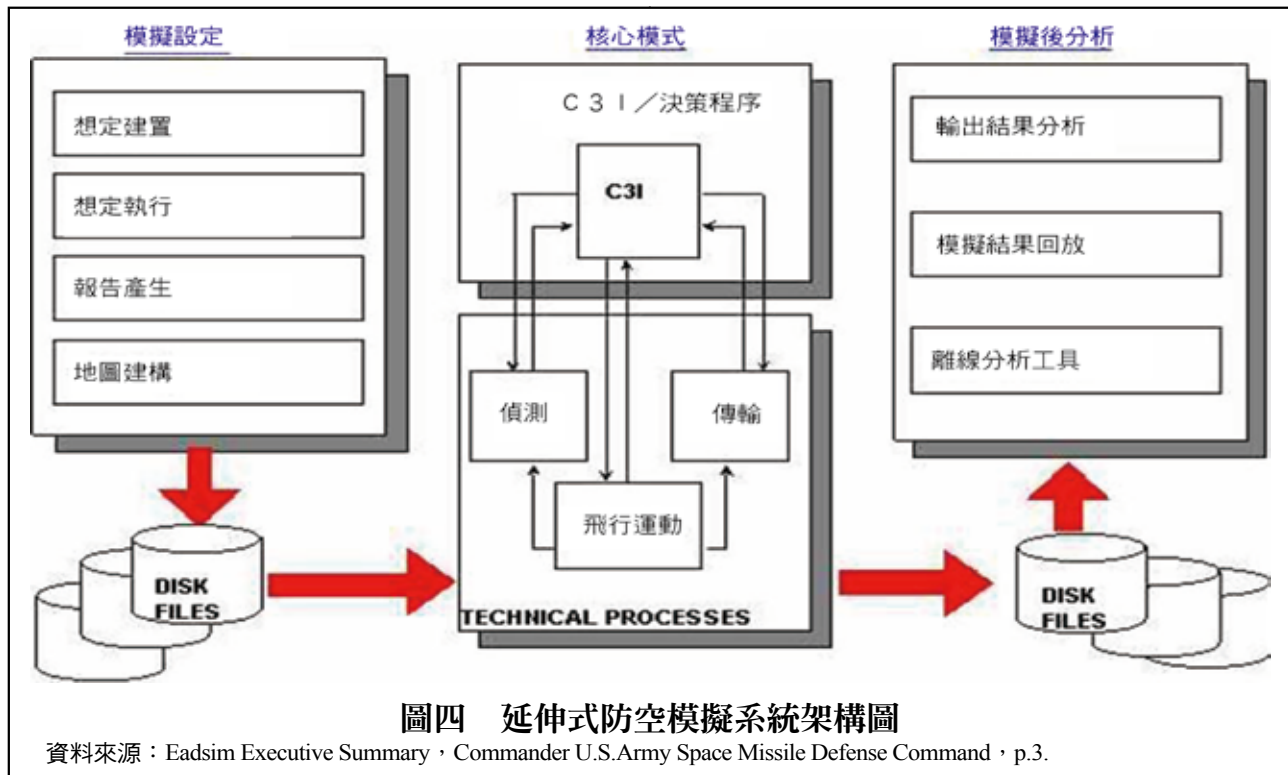
特遣支隊指揮官依本身任務，(單艦巡航防空作戰、或多艦護航運補防空作戰)，將上述六要項依本身配置兵(火)力，選擇適當隊形，形成最佳戰術配置。

(二) 本(海)軍艦艇防衛流程與方式

1. 防衛流程：

本研究所模擬艦艇係本軍成功、康定、基隆級及濟陽級艦，實質上每艘船艦均為一個「實體(Entity)」，可經由實體屬性律定，依艦隊編組不同而改為其他艦型，但其防空程式應須相同，可變動之實體屬性包含：武器性能、武器配置、武器攜行量、武器操作反應時間、防衛距離及作戰效益。

2. 防禦方式：



- (1)層內連續防禦。
- (2)層內非連續防禦。
- (3)層內外連續防禦。
- (4)層內外非連續防禦。

三、延伸式防空模擬系統

(一)分析工具與方法

本文模式模擬使用之工具，有關反飛彈作戰及防空作戰等場景，均使用延伸式防空模擬系統(Extended Air Defense SIMulation, Eadsim)來模擬，其模式功能簡介如下：

(二)延伸式防空模擬系統(Eadsim)

延伸式防空模擬系統為一分析性模式模擬系統，主要模擬防空作戰、空中作戰及飛彈防禦等議題；作戰規模涵蓋「單一載台對抗」(One-to-one)交戰模擬、「多兵力對抗

」(Many-to-many)交戰模擬、以及「戰區階層」(Theatre level)作戰模擬。延伸式防空模擬系統提供高解析度之系統模式，具有載台(Platform)、指揮管制C3I、運動、交戰、通信、地形等。

(三)系統架構

延伸式防空模擬系統的系統架構包括三個部分：

1. 核心模式(Run-time models)：其中包含C3I決策程序、偵測、飛行運動及傳輸等。
2. 模擬設定(Scenario Generation)。
3. 模擬後分析(Post-Simulation Analysis)。

延伸式防空模擬系統之系統架構及其模式(如圖四)所示：

有關Eadsim係屬物理屬性，其依循運動



、偵測及交戰過程的物理現象依程式推導，僅討論上一層級影響到下一層級的行為結果，並依各模組內建規則集(Rule Set)，執行戰術作為細部邏輯模擬。

(四) 運作流程(Eadsim運作架構流程)

1. 首先須建立模擬設定，其中包含想定建置、想定執行、報告產生以及地圖建構。

2. 接著執行核心模組模擬，核心模式包括了：C3I決策程序、偵測、傳輸及飛行運動。

3. 最後產生並輸出結果與分析報告(以蒙地卡羅法模擬300次；蒙地卡羅式模擬：即為利用隨機亂數(Random Number)的離散式模擬，而不考慮時間因素，一般此類模擬亦稱之為統計式模擬)，模擬結果重播以及其他分析用資料等。

四、馬可夫鏈模型

由於涉及時間的狀態，本計畫亦將運用馬可夫鏈的特性，即是「狀態間的移轉只和目前所處的狀態有關，和以前的狀態無關」，依馬可夫鏈的特性，武器的命中率即是「下一發命中與否的機率只和目前這一發是否命中有關」。

五、馬可夫鏈模式

本文所採用的馬可夫模型是一個在作戰模型建模中經常應用的一種隨機過程模型，一個隨機過程，如果對於每一時刻 t_0 ，系統未來處於任何狀態的機率僅與當時($t=t_0$)的狀態有關，而與系統是如何及何時進入這種狀態無關，則稱這種隨機過程為馬可夫鏈隨機過程。

馬可夫鏈數學運算式：

$$P\left\{X(tn) = \frac{Xn}{X(t1)} = X1, X(t2) = X2, \dots, X(tm-1) = Xn-1\right\} \\ = P\left\{X(tm) = \frac{Xn}{X(tm-1)} = Xn-1\right\}$$

式中， $X(t_i)=X_i$ 表示處於 t_i ($i=1, 2, \dots, n$)時刻的狀態。馬可夫鏈具有的這種性質，稱為無後效性(或稱無記憶性)，無後效性是指一個時間序列將來呈現什麼狀態，取什麼值只與他現在狀態和取值有關，與以前狀態無關。

若馬可夫鏈從 t 時處於狀態 i ，轉移到 $t+\Delta t$ 時處於狀態 j 的轉移概率與轉移的起始時間 t 無關，為：

$$P(X(t+\Delta t)) = \frac{j}{X(t)} = i \\ = P(X(\Delta t)) = \frac{j}{X(0)} = i = P_{ij}(t)$$

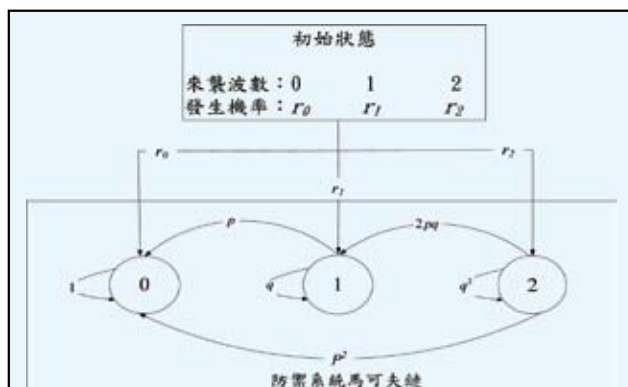
把 $P_{ij}(t)$ 排成的矩陣 $P(\Delta t)=[P_{ij}(t)]$ 成為馬可夫鏈狀態概率轉移矩陣，在此有：

$$P_{ij}(t) \geq 0, \sum_{j=1}^n P_{ij}(t) = 1 (t=0, 1, 2, \dots)$$

(一) 吸收馬可夫鏈模式

吸收馬可夫鏈模型介紹：該模式的馬可夫鏈的「狀態」定義為「數量」，屬於一種離散狀態，依所關心事件的不同，對狀態的定義略有不同，在描述識別過程的馬可夫鏈機率移轉矩陣(識別矩陣)的「列」(Row)狀態定義為來襲飛彈的數量，而「行」(Column)狀態則定義為識別結果的數量。在描述攔截器攔截過程的行列狀態定義為進入該防禦層的目標數量，列狀態則是通過該防禦層的存活率。簡單的馬可夫鏈防禦過程(如圖五)所示。

而離散式模擬(Discrete Event Simu-



結束狀態		
突穿數量:	0	1
發生機率:	$r_0 + r_1 p + r_2 p^2$	$r_1 q + 2 r_2 p q$

圖五 馬可夫鏈防禦示意

資料來源：孟昭宇、劉達生、段伴虯、劉基全，〈多戰區、多波、多層-彈道飛彈防禦問題探討〉，《國防雜誌雙月刊》，第22卷，第4期，2007年。



結束狀態			
突穿數量:	0	1	2
發生機率:	$r_0 + r_1 p + r_2 p^2$	$r_1 q + 2 r_2 p q$	$r_2 q^2$

圖六 防禦能量不足之馬可夫鏈

資料來源：孟昭宇、劉達生、段伴虯、劉基全，〈多戰區、多波、多層-彈道飛彈防禦問題探討〉，《國防雜誌雙月刊》，第22卷，第4期，2007年。

lation)：意指模式中的相依變數，隨時間間斷式變化，而這些間斷或離散的時間點則稱為事件點(Event Time)，舉例而言，艦艇的戰鬥系統包括多個火力單元，假設每一個火力單元僅含有一個火力通道，由於戰鬥

系統與空射飛彈，在空中遭遇點不同，戰鬥系統的射擊時間看成一個隨機變量，即成為一個負指數分佈，火力單元進行一次射擊後立即觀察射擊結果，如果飛彈被擊毀，則該飛彈立刻消失，火力單元結束射擊後立刻轉移火力；如果飛彈未被擊毀，則繼續射擊。

將圖五以數學式表示則如第(1)式，以防禦層的突穿向量做為下一層的初始狀態。較以往以期望值為基礎的方法提供更深入的飛彈防禦相關資訊。

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & r_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ p & q & 0 \\ p^2 & 2pq & q^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_0 + r_1 p + r_2 p^2 & r_1 q + 2 r_2 p q & r_2 q^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

來襲向量 × 防禦矩陣 = 突穿向量

(二) 防禦能量不足馬可夫鏈模式

在處理防禦能力的限制因素(目前考慮防禦能量與攔截器存量)時，其核心問題在於：限制因素產生時，對防禦矩陣有何影響？要解釋這個問題，先考慮一個簡單狀況：若某依艦艇防空飛彈系統的防禦能量為3，其射擊準則為1(對1枚來襲飛彈發射1枚攔截器)，且攔截器存量充沛，若來襲的飛彈亦為3，則沒有任何限制因素存在，此時防禦矩陣如下：

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ p & q & 0 & 0 \\ p^2 & 2pq & q^2 & 0 \\ 0 & p^2 & 2pq & q^2 \end{bmatrix}$$

若因為某種因素，該防空飛彈系統能量減為2，或攔截器純為某種因素，該防空飛彈系統能量減為2，或攔截器存量僅剩2枚。此時將只有2枚飛彈會遭到攔截，其餘1枚來襲飛彈不會遭到攔截。因此，防禦矩陣則必須修改。修改防禦矩陣首先考慮矩陣的維度



表二 Eadsim與馬可夫鏈模型優缺點比較表

模式	優劣	優點	缺點
Eadsim模擬模式		1. 美方現役模擬模式。 2. 模式涵蓋工程、戰術級戰役層次，精確度高。 3. 可對選擇方案與裝備性能實施更實際之模擬分析。	1. 非標準視窗介面，操作不易。無中文化，對使用者無親和力。 2. 未釋出原始程式碼，無法擴充模式功能。 3. 非專為制海作戰目的設計之模式，缺乏相關戰術邏輯。 4. 依美軍教準設計模式，不完全符合我國情。
馬可夫鏈模型		1. 計算很大的數據資料時效性很好。 2. 能輕易地得知各變數間是否條件獨立或相依，與其局部分配的形態來求得所有隨機變數之分配。 3. 為一機率模型，因此可以解決線性代數無法解決之問題。	1. 抽取出的樣本並不具獨立性。 2. 當模型很複雜時，使用列舉式的方法來求解機率就會變得非常複雜且難以計算。 3. 必須事先知道未知變數的事前機率分佈，一旦所假設的事前機率錯誤，將會得到相當不理想的結果。

資料來源：本研究整理。

，由於來襲數量為3，因此，防禦矩陣必須維持4x4的形態，但來襲數量超出防禦能力的數量有1枚不會被攔截，此時即為防禦能量不足的馬可夫鏈(如圖六)。

在圖六中由於防禦能量不足，3枚來襲飛彈中僅有2枚被攔截，這2枚被攔截的飛彈其機率分配與來襲數量為2的情況一樣。經過這些假設與處理之後，馬可夫鏈的飛彈防禦模式便可以用來處理更接近真實狀況的作戰想定。

(三)單艦模擬與馬可夫鏈模型之關係

海軍艦隊防空作戰多層防禦「層」(Layer)的觀念，係指攔截飛彈的過程區分為三層；第一階段屬遠程攔截區，第二階段泛指中程飛彈攔截過程，第三階段屬近程飛彈攔截區，並依研究假設以Shoot-Look-Shoot射擊準則實施攔截，故某個防禦階段不只一層防禦，屬多層防禦觀念。

以馬可夫鏈矩陣表列如下：

$$[\text{來襲飛彈數量機率分佈}] \times \begin{bmatrix} \text{層 1 飛彈攔截} \\ \text{矩陣 Layer 1} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{層 2 飛彈攔截} \\ \text{矩陣 Layer 2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{層 3 飛彈攔截} \\ \text{矩陣 Layer 3} \end{bmatrix} = [\text{突穿數量機率分佈}]$$

其中

$$\begin{aligned} & [\text{來襲飛彈數量機率分佈}] \times \begin{bmatrix} \text{層 1 飛彈攔截} \\ \text{矩陣} \end{bmatrix} \\ &= \text{Layer 1 突穿數量機率分佈} \\ & [\text{Layer 1 突穿數量機率分佈}] \times \begin{bmatrix} \text{層 2 飛彈攔截} \\ \text{矩陣} \end{bmatrix} \\ &= \text{Layer 2 突穿數量機率分佈} \\ & [\text{Layer 2 突穿數量機率分佈}] \times \begin{bmatrix} \text{層 3 飛彈攔截率} \\ \text{矩陣} \end{bmatrix} \\ &= \text{Layer 3 突穿數量機率分佈} \end{aligned}$$

藉由馬可夫鏈模型清晰描述海軍特遣艦隊防空作戰多層防禦觀念，其防禦模式係由敵制海飛彈來襲後，艦隊立即啟動第一層飛彈防禦，經過防禦時間歷程後，計算第一層飛彈突穿的機率分佈，以此防禦層逐次推展至三層後，可得出艦隊整體戰損。

(四)Eadsim模擬模式與馬可夫鏈模型之比較

一般而言，馬可夫鏈可說是事件、狀態



及時間週期的集合，研究的是，事件在一種狀態內，經過許多週期轉換之後，事件仍在原狀態的機率為何？轉換成不同狀態機率為何？相對Eadsim而言，都有其無法完全適用於本研究個案之優劣(如表二)。

參、模式建構(Eadsim與馬可夫鏈模型)

一、想定模式設計

(一) 想定時間：現況及西元2015年。

(二) 想定目的：為有效強化支隊防空作戰機制與效能，增進其防空作戰之戰場存活率，就本文綜合結論提供最適兵力編組後，增加支隊反制敵飽和飛彈攻擊防護能力。

(三) 假定事項：

1. 本文模式模擬戰系裝備武器組合以現用裝備為設計基礎。

2. 假設基隆級艦標準二型飛彈酬載量為50枚、成功級艦標準一型飛彈酬載量為30枚、濟陽級艦標準一型飛彈酬載量為8枚。本案模擬參數，使用詹氏年鑑、公開資訊提供之規格參數執行，不涉及機密與國家機密保護法管制範疇。

3. 為收斂本案主要威脅源之戰力研析，將假設敵以次音速攻船飛彈對我特遣任務進行3波次飽和攻擊，並置重點於任務支隊防空作戰效益之模擬。

4. 每一場景均模擬飛彈均自同一方向來襲及自不同方向來襲之兩種結果；並搭配近迫武器系統可執行作戰之情況。

二、重要分析評估要項及量測指標

(一) 重要分析要項

1. 探討不同兵力組合因應中共3波次殲轟機攻擊之反飛彈能力及存活率能力。

2. 探討基隆級艦與現有康定、成功及濟陽級艦在聯合制空作戰打擊能力。

3. 探討在不同之護航兵力編隊下，對反飛彈作戰反制結果之差異性。

4. 探討攻船飛彈以同一方向或不同方向進襲，對反制結果之差異性。

5. 探討在不同之護航兵力編隊下，對9枚、18枚、27枚及36枚攻船飛彈來襲之情形下，反制結果之差異性。

(二) 效益量測指標

1. 偵蒐能力：本項能力分析要項於本模式模擬評估作業中，針對本軍現有基隆、成功、康定及濟陽級艦單艦作戰偵蒐能力為分析個案對象。

2. 打擊能力：本項能力分析要項於本模式模擬評估作業中，針對本軍現有基隆、成功、康定及濟陽級艦單艦防空作戰打擊能力為分析個案對象。

3. 整體攔截率與被擊中率(穿透率)：針對被護航編隊整體而言，瞭解整體攔截率與被擊中之機率(穿透率)。

4. 來襲波次影響被擊中率(穿透率)：針對不同波次之來襲飛彈，造成被擊中率(穿透率)之結果。

三、個案設計

(一) 方案一

共軍空軍殲擊機(三批次，每批次3架)分別以次音速飛彈對基隆、成功及康定飛彈巡防艦實施9枚、18枚、27枚、36枚飛彈飽和攻擊；模擬分析本類型組合編隊主戰艦反



飛彈能力及防護主體存活率(突穿率)。

(二) 方案二

共軍空軍殲擊機(三批次, 每批次3架)分別以次音速飛彈對基隆、濟陽及康定飛彈巡防艦實施9枚、18枚、27枚、36枚飛彈飽和攻擊; 模擬分析本類型組合編隊主戰艦反飛彈能力及防護主體存活率(突穿率)。

(三) 方案三

共軍空軍殲擊機(三批次, 每批次3架)分別以次音速飛彈對基隆、成功及濟陽飛彈巡防艦實施9枚、18枚、27枚、36枚飛彈飽和攻擊; 模擬分析本類型組合編隊主戰艦反飛彈能力及防護主體存活率(突穿率)。

四、資料設定與匯入

模式適用於水面艦對敵空中載台、反輻射飛彈或攻船飛彈之自衛防空及區域防空分析、我水面艦艦型組合與編隊距離分析、海空聯合截擊飽和攻擊彈藥需求分析、作戰系統防空飛彈發射間隔與反應時間效能分析、超低空或超音速攻船飛彈效能與攔截能力分析等, 同時亦適用於地面防空作戰分析。

五、模型提出和簡化

多批編隊目標選擇的過程如下: 首先對於進入攔截區的來襲飛彈計算其威脅度, 然後利用動態選擇方法選擇分配的來襲飛彈, 當目標被擊落以後, 重新確定系統狀態, 進行下一輪的武器目標選擇。

肆、模式分析比較

一、Eadsim個案分析結果

有關於模擬結果的平均值, 係以300次蒙地卡羅離散事件隨機模擬所得之效益衡量

指標輸出值的平均數做為統計期望估計值, 估計的信賴區間信心水準為95%; 其中模擬次數越多理當愈精準, 中央極限定理只適用於大樣本, 一般建議樣本數為30時, 樣本平均數會趨近於常態分配, 本研究模擬次數已大於建議樣本數, 並在Eadsim模擬300次後, 重要Moe估計值其信賴區間誤差百分比不超過5%。

信賴區間的解釋為估計值 $\bar{Y} \pm Z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ 涵蓋母體平均數 μ 的機率為95%, 又因為 $\pm$ 誤差百分比為 $Z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ 除以 $\bar{Y}$, 所以訂定一特定 $\pm$ 誤差百分比值 e 可以推算實驗次數 n 的大小, 即 $n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} S}{e \bar{Y}} \right)^2$, 本研究95%信賴區間條件下 $Z_{\alpha/2}$ 為1.96

$$\text{所以實驗次數 } n = \left(\frac{1.96 S}{e \bar{Y}} \right)^2$$

舉例而言, 以同一方向9枚飛彈想定, 方案一「防空飛彈發射數」效益衡量指標實驗觀察平均值 $\bar{Y}=18.43$, 樣本標準差 $S=3.18$, 如估計信賴區間為95%, $\pm$ 誤差百分比訂於5%, 則實驗次數 n 應為127次, 故本研究以300次做為蒙地卡羅亂數模擬次數, 已滿足所需實驗次數; 故當樣本數趨近於無限大, 則 Z 趨近於標準常態分配。

由於三個方案之場景均只有護航艦之組成不同, 其餘在隊形及來襲之飛彈數設計上均相同, 故在執行模擬後之結果顯示, 予以置放在同一個表格上, 可方便進行相關之比較與分析; 各方案之模擬, 均採用來襲飛彈使用同一方位進襲及採用不同方位進襲等兩種方式進行模擬:

二、Eadsim模擬綜合評析

(一) 計量評估



1. 不同艦型編組對反飛彈能力分析：

(1)從模擬結果顯示，因基隆級艦標準二型飛彈具有區域防空及反飛彈之能力，故可發現大部分來襲之飛彈均由其反制成功；而成功級艦因具有標準一型飛彈，具有部分區域防空及反飛彈之能力，故其反制之結果稍具成績；對濟陽級艦而言，雖具標準一型飛彈，但其為固定架，且僅有一部追蹤與照明雷達，故反飛彈能力稍差，對康定級艦而言，因僅具自衛防空能力，其能力最差。

(2)因護航編隊之各型艦艇均具有CiwS近迫武器系統，在緊密之編隊狀況下，仍可發揮其保護主體之功效。

2. 飛彈從同一方向或從不同方向對反制結果分析：

(1)飛彈從同一方向來襲之狀況下，在波次少之情況下，其穿透率較無明顯區別(9及18枚飛彈均達100%攔截率)。

(2)但來襲波次增多後，則穿透率則明顯較從不同方向來襲之情況下增多，顯示攻船飛彈之攻擊，以同一方向連續進襲所產生之效果較佳(27枚飛彈飽和攻擊可達4.48~5.0%整體穿透率，造成艦艇戰損；另36枚飛彈飽和攻擊已達15.69~15.79%之整體穿透率)。

3. 對不同波次之反制結果分析：

(1)從模擬結果顯示，在9枚及18枚YJ-83來襲之情況下，在各種組合之編隊中，均有良好之反制能力，其中方案一、二時，有0.02%至0.60% YJ-83穿越屏衛船團攔截區，進入首要區由CiwS系統自動接戰處理，而有效被攔截。

(2)當來襲飛彈數增加至27枚或36枚時，穿透率則分別為5%及15.7%附近，顯示在經過長時間之攻擊下，對護航編隊及主體均將遭受損傷。

(二)效益量測指標

1. 個別攔截率與被擊中率(穿透率)分析：

(1)在同一方向來襲之情形下，主體被擊中超過1枚之狀況發生在27枚來襲之狀況下，顯示各種護航編隊在18枚以下之飛彈來襲情況下，可有效執行護航任務。

(2)各護航艦因均具備近迫武器系統，故其等被擊中率均非常之少，顯示若艦上具有自衛之近迫武器系統，確可發揮其功效。

2. 整體攔截率與被擊中率(穿透率)分析：
來襲飛彈均從同一方向進襲，整體攔截率較飛彈從不同方向來襲之情況下為差，亦即被穿透率較大，主因之差異在於自衛之武器連續執行反制，有其飽和之處。

3. 來襲波次影響被擊中率(穿透率)分析：
對各種護航編隊，若來襲飛彈在18枚以下時，均有能力執行飛彈反制，但超過18枚以上，則對主體之護航能力，將出現漏洞。

(三)非計量評估

1. 基隆級艦在整體之模擬中，可顯現其良好之飛彈反制能力，故在護航編隊中，基隆級艦在護航任務中，為不可少之成員。

2. 編隊在緊密編成下，近迫武器系統及自衛防空系統可發揮其功效，但若以疏離編隊編成時，近迫武器系統及自衛防空系統無法發揮其功效時，則相關反制飛彈之能力將隨之降低，可以從表中減去相關近迫武器系統及自衛防空系統反制之數量而得知。



(四)綜合評析

1. 經模擬分析結果，基隆級艦為護航之主力；而成功級艦次之、再來為濟陽級艦，最差為康定級艦。

2. 飛彈來襲以相同方向進襲，被攔截率較低，亦即穿透率較高；故若我方採攻擊時，若彈數足夠，應以同一方向進襲較佳；故為簡化後續與馬可夫鏈模型分析比較考量，馬可夫鏈模型採以較為嚴苛的相同方向飽和攻擊為主要分析方向。

3. 各種編隊模擬數據顯示，其中以方案三由基隆級艦搭配成功級與濟陽級艦為最適兵力編組。

三、Matlab軟體介紹

Matlab係為MATrix LABoratory的縮寫，是一款由美國The MathWorks公司出品的商業數學軟體，Matlab是一種用於演算法開發、資料視覺化、資料分析以及數值計算的高階技術計算語言和互動式環境，其主要提供以下功能：

(一)可用於技術計算的高階語言。

(二)可以按替代的方式探查、設計及求解問題的互動式工具。

(三)可用於線性代數、統計、傅立葉分析、篩選、最佳化以及數值積分等的數學函式。

(四)可將基於Matlab的演算法與外部應用程式和語言(如C、C++、Fortran、Java、COM以及Microsoft Excel)整合的各種函式。

四、馬可夫鏈多層防禦模型設定資料

(一)首先使用者定義的變數。

(二)其次輸入單艦單層Eadsim防禦率參

數。

(三)輸入來襲數量的向量。

(四)設定來襲數量向量(固定來襲飛彈數)。

(五)準備來襲機率向量。

(六)設定來襲機率向量(如果來襲數量不確定，即為機率分佈；則以向量方式給定)。

(七)準備馬可夫鏈的防禦矩陣參數設定。

(八)以二項分配求出防禦矩陣中每個元素機率值。

(九)準備突穿機率向量(防禦結果)。

(十)計算每一層防禦之後的突穿機率向量。

(十一)繪製突穿機率直條圖。

(十二)計算突穿數量期望值。

五、馬可夫鏈多層防禦結果分析

(一)9枚飛彈來襲Matlab計算結果。

1. 方案一防禦矩陣分析：

以方案一為例(基隆級搭配成功與康定級艦特遣支隊編組)，將Eadsim單艦整體攔截率，基隆級艦100%，成功級艦33.56%及康定級艦32.2%代入Matlab計算設定公式；另將來襲飛彈數量訂為9枚後，經解算第一案整體穿透率為0，與Eadsim模擬結果比較相同。

2. 方案二防禦矩陣分析：

以方案二為例(基隆級搭配濟陽與康定級艦特遣支隊編組)，將Eadsim單艦整體攔截率，基隆級艦100%，濟陽級艦32.00%及康定級艦32.2%代入Matlab計算設定公式；另將來襲飛彈數量訂為9枚後，經解算第二



案整體穿透率為0，亦與Eadsim模擬結果相同。

3. 方案三防禦矩陣分析：

以方案三為例(基隆級搭配濟陽與成功級艦特遣支隊編組)，將Eadsim單艦整體攔截率，基隆級艦100%，濟陽級艦32.00%及成功級艦33.56%代入Matlab計算設定公式；另將來襲飛彈數量訂為9枚後，經解算第三案整體穿透率為0，亦與Eadsim模擬結果相同。

(二) 18枚飛彈來襲Matlab計算結果

1. 方案一防禦矩陣分析：

以方案一為例，將Eadsim單艦整體攔截率，基隆級艦99.11%，成功級艦34.78%及康定級艦19.39%代入Matlab計算設定公式；另將來襲飛彈數量訂為18枚後，經解算第一案突穿數量期望值為0.0842，另計算期望攔截率為 $\frac{18-0.0842}{18} = 99.53\%$ ，續與Eadsim模擬結果整體攔截率99.78%，執行突穿數量期望值計算 $18-(18 \times 0.9978)=0.0396$ 比較後，期望差異值僅0.0446，攔截率誤差為0.25%，計算結果相近。

2. 方案二防禦矩陣分析：

以方案二為例，將Eadsim單艦整體攔截率，基隆級艦99.11%，濟陽級艦34.17%及康定級艦19.39%代入設定公式；另將來襲飛彈數量訂為18枚後，經解算第二案突穿數量期望值為0.0850；另計算期望攔截率為 $\frac{18-0.085}{18} = 99.527\%$ ，續與Eadsim模擬結果整體攔截率99.94%，執行突穿數量期望值計算 $18-(18 \times 0.9994)=0.0108$ 比較後，期望值差異僅0.0742，攔截率誤差為0.413%，計

算結果亦相近。

3. 方案三防禦矩陣分析：

以方案三為例，將Eadsim單艦整體攔截率，基隆級艦99.11%，濟陽級艦34.17%及成功級艦34.78%代入設定公式；另將來襲飛彈數量訂為18枚後，經解算第三案突穿數量期望值為0.0688；另計算期望攔截率為 $\frac{18-0.0688}{18} = 99.62\%$ ，續與Eadsim模擬結果整體攔截率99.83%，執行突穿數量期望值計算 $18-(18 \times 0.9983)=0.0306$ 比較後，期望值差異僅0.0382，攔截率誤差為0.21%，計算結果相近。

綜合評析：9及18枚來襲飛彈從同一方向來襲之狀況下，在波次及來襲飛彈數量少之情況下，以基隆級艦優異的New Threat Upgrade戰鬥系統與SM-2防空飛彈搭配各不同類型主戰艦艇多層次防禦處理後，其穿透率較無明顯區別；其中針對濟陽級艦處理18枚飛彈單艦整體攔截率為34.17%，惟應不致優於處理9枚飛彈單艦整體攔截率32.00%，其中差異值為2.17%，係屬無法控制電腦離散式分析計算結果，就實際面而言攔截率經量化後，不致影響整體評估結論。

(三) 27枚飛彈來襲Matlab計算結果

1. 方案一防禦矩陣分析

以方案一為例，將Eadsim單艦整體攔截率，基隆級艦88.33%，成功級艦29.22%及康定級艦18.89%代入設定公式；另將來襲飛彈數量訂為27枚後，經解算第一案突穿數量期望值為1.8089；另計算期望攔截率為 $\frac{27-1.8089}{27} = 93.30\%$ ，續與Eadsim模擬結果整體攔截率95.00%，執行突穿數量期望值計



算 $27-(27 \times 0.95)=1.35$ 比較後，期望值差異僅0.4589，攔截率誤差為1.7%，計算結果亦相近。

2. 方案二防禦矩陣分析：

以方案二為例，將Eadsim單艦整體攔截率，基隆級艦88.33%，濟陽級艦27.93%及康定級艦18.89%代入設定公式；另將來襲飛彈數量訂為27枚後，經解算第二案突穿數量期望值為1.8419；另計算期望攔截率為 $\frac{27-1.8419}{27}=93.18\%$ ，續與Eadsim模擬結果整體攔截率95.11%，執行突穿數量期望值計算 $27-(27 \times 0.9511)=1.3203$ 比較後，期望值差異僅0.5216，攔截率誤差為1.93%，計算結果相近。

3. 方案三防禦矩陣分析

以方案三為例，將Eadsim單艦整體攔截率，基隆級艦88.33%，濟陽級艦27.93%及成功級艦29.22%代入設定公式；另將來襲飛彈數量訂為27枚後，經解算第二案突穿數量期望值為1.6073；另計算期望攔截率為 $\frac{27-1.6073}{27}=94.047\%$ ，續與Eadsim模擬結果整體攔截率95.52%，執行突穿數量期望值計算 $27-(27 \times 0.9552)=1.2096$ 比較後，期望值差異僅0.3977，攔截率誤差為1.473%，計算結果相近。

(四) 36枚飛彈來襲MATLAB計算結果

1. 方案一防禦矩陣分析

以方案一為例，將Eadsim單艦整體攔截率，基隆級艦71.69%，成功級艦25.72%及康定級艦17.75%代入設定公式；另將來襲飛彈數量訂為36枚後，經解算第一案突穿數量期望值為6.2266；另計算期望攔截率為

$\frac{36-6.2266}{36}=82.70\%$ ，續與Eadsim模擬結果整體攔截率84.31%，執行突穿數量期望值計算 $36-(36 \times 0.8431)=5.6484$ 比較後，期望值差異僅0.5782，攔截率誤差為1.61%，計算結果相近。

2. 方案二防禦矩陣分析

以方案二為例，將Eadsim單艦整體攔截率，基隆級艦71.69%，濟陽級艦24.58%及康定級艦17.75%代入設定公式；另將來襲飛彈數量訂為36枚後，經解算第二案突穿數量期望值為6.3222；另計算期望攔截率為 $\frac{36-6.3222}{36}=82.44\%$ ，續與Eadsim模擬結果整體攔截率84.33%，執行突穿數量期望值計算 $36-(36 \times 0.8433)=5.6412$ 比較後，期望值差異僅0.6810，攔截率誤差為1.89%，計算結果相近。

3. 方案三防禦矩陣分析

以方案三為例，將Eadsim單艦整體攔截率(同18枚攻船飛彈以同一方向來襲之模擬結果)，基隆級艦71.69%，濟陽級艦24.58%及成功級艦25.72%代入設定公式；另將來襲飛彈數量訂為36枚後，經解算第三案突穿數量期望值為5.7095；另計算期望攔截率為 $\frac{36-5.7095}{36}=84.14\%$ ，續與Eadsim模擬結果整體攔截率84.22%，執行突穿數量期望值計算 $36-(36 \times 0.8422)=5.6808$ 比較後，期望值差異僅0.0287，攔截率誤差為0.08%，計算結果相近。

計量分析：在多波次及來襲飛彈數量大之情況下，不論基隆級艦配置各類型優異偵蒐裝備與戰鬥系統，並搭配各不同類型主戰艦艇多層次防禦處理後，無論Eadsim



表三 Eadsim及Matlab量化結果分析表

波次 \ 方案	第一案：基隆、成功、康定級		第二案：基隆、濟陽、康定級		第三案：基隆、成功、濟陽級	
9枚飛彈攔截率	Eadsim	MATLAB	Eadsim	MATLAB	Eadsim	MATLAB
	100%	100%	100%	100%	100%	100%
18枚飛彈攔截率	Eadsim	MATLAB	Eadsim	MATLAB	Eadsim	MATLAB
	99.78%	99.53%	99.94%	99.527%	99.83%	99.62%
27枚飛彈攔截率	Eadsim	MATLAB	Eadsim	MATLAB	Eadsim	MATLAB
	95.00%	93.30%	95.11%	93.18%	95.52%	94.047%
36枚飛彈攔截率	Eadsim	MATLAB	Eadsim	MATLAB	Eadsim	MATLAB
	84.31%	82.70%	84.33%	82.44%	84.22%	84.14%

資料來源：本研究整理。

或Matlab模擬分析結果，均有無法完全攔截來襲飛彈成功景況，以36枚飛彈飽和攻擊予以分析，各案Matlab計算突穿數量期望值與Eadsim結果相近；另以計量分析評析：第三案突穿數量期望值5.7095與攔截率84.14%，優於第一案(突穿數量期望值6.2266及攔截率82.70%)及第二案(突穿數量期望值6.3222及攔截率82.44%)，故特遣艦(支)隊編組，任務指揮官決心下達以基隆級艦搭配成功與濟陽級艦為最佳編組方案，綜整各案Eadsim及MATLAB量化結果(如表三)。

非計量分析：以非計量方式評析優選第三案原因如後：

(1)效益性考量：第一、二案均搭配康定級艦，囿於該型艦海欖飛彈發射系統裝載數量不足，無法實施多波次即時反制，作戰效益大幅受限，而其餘主作戰艦型飛彈酬載數量可遂行多波次反制。

(2)時間性考量：同前述，康定級艦當4枚飛彈射擊完畢後，需在作戰環境下派遣人員至海欖甲板實施人工裝彈，所需耗時約12至15分鐘，於此同時面對進襲之次音速飛彈

(0.85馬赫約285 M/S)，勢必無法即時實施第二波反制，反應時間大幅受限。

(3)成本性考量：目前本軍戰系裝備均由使用單位、中科院及戰系工廠執行O(野戰保修)、I(廠修)、D(原廠或協約廠深度修護)保修作業，如採週轉件方式預屯，亦大幅增加後勤運作成本。

綜上，經計量與非計量分析綜合評估與驗證後可得知，本案例所顯示艦隊防空作戰係屬一隨機過程，而此過程可以機率分佈面向深入討論，而馬可夫鏈模型之飛彈防禦系統，是解決此飛彈防禦問題最適決策之一，經前述計量及非計量方式驗證，均以第三案為最佳決策規劃方案。

伍、結語與建議

海軍特遣艦(支)隊防空(反飛彈)作戰為現今制海作戰中最重要，且複雜之作戰形態，藉由模擬的結果與分析顯示，偵測能力越強、反制武器性能越遠、反映時間越短及指管能力越強，對於戰場控制能力相對增強，經過Eadsim與馬可夫鏈模型量化後，綜合結

論略以：

一、兩種分析工具量化結果顯示，在海軍特遣艦隊編組中，個案設計之三個方案攔截率(與穿透率)均相近，爾後可用來評估未來發展或新購武器防空效能，做為決策評量工具。

二、在既有射擊、接戰準則下與裝備配賦下，均以方案三基隆級艦搭配成功與濟陽級艦任務編組，可達到最大艦隊防空作戰防禦效益。

未來臺海戰爭形態，並不侷限於近海作戰，決戰範圍可將達百浬以外海域範圍，除藉由強大作戰能力之艦艇外，希本文研究所得，以美軍現役模擬分析工具(Eadsim)系統模擬方法為基礎建立一套合理的艦隊特遣建(支)隊防空任務編組數量需求模式，並與馬可夫鏈模型數學模型作出分析比較與修正，提供海軍於未來制海作戰期間形成任務編組最適決策，做為未來艦隊整體發展思考。

<參考文獻>

1. Danile H. Wagner, W. C. Naval Operations Analysis, Third Edition, Department of Mathematics U.S. Naval Academy. 1999. pp. 298-323.

2. Davis P K. New Paradigms and New Challenges CI. (2005). Proceedings Winer Simulation Conference.

3. Kress, M. &. A new look at the 3:1 rule of combat through Markov Stochastic Lanchester models. . Journal of the Operational Research Society , 1999, pp. 733-744.

4. European Journal of Opeaatonal Research, Military and Security Developments Involving the People Republic of China The Balance of Air Power in the Taiwan Strait. Taiwan Business Council. 2001. pp. 560-578.

5. Osman, B. Validation and Certification of Modeling and Simulation Applications. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, 2003, pp. 150-158.

6. U.S. Naval Academy. Naval Operations Analysis, Second Edition, Department of Mathematics, , fifth printing PP, 1989. pp. 223-236.

7. 孟昭宇、劉達生、段伴虯、劉基全，〈多戰區、多波、多層-彈道飛彈防禦問題探討〉，《國防雜誌雙月刊》，第22卷，第4期，2007年，頁29-30。

8. 林則孟，《系統模擬－理論與應用》，2006年，Chap1、2、6。

9. 唐雪梅，〈地對地彈道飛彈武器系統攻防體系對抗〉，《系統工程與電子技術》，2003年，頁10-13。

10. 高振宇，〈艦隊防空作戰分析與建模〉，《海軍學術雙月刊》，第44卷，第3期，2010年6月，頁91-106。

11. 劉已斌、路建傳、黃堅、劉強，〈防空武器系統總體效能的灰色評價模型〉，《現代技術防禦》，2007年，頁11-15。

12. 薛長生、李拾力、李宇寰，〈防空飛彈系統效能評估研究〉，《戰術飛彈控制



技術》，2007年，頁157-161。

13. 謝遊麟，〈中共非線性作戰研析與因應〉，《海軍學術月刊》，第44卷，第1期，2007年，頁42-50。

14. 蘭寧利，〈艦隊防空作戰的發展

〉，《海軍學術月刊》，第38卷，第3期，2004年，頁5-17。



作者簡介：

盛培智上校，海軍官校78年班，海軍指揮參謀學院94年班，國防大學資源管理與決策研究所碩士，現服務於海軍司令部。

老軍艦的故事

漢陽軍艦(二) DDG-915

我國海軍第二艘以漢陽命名之軍艦，原為美海軍Gearing級驅逐艦，編號DD-833，由美國緬因州伯利恆鋼鐵公司承造，1945年3月25日下水，同年5月29日完工成軍，1962年7月改裝為密閉式艙間核子生化防護艦。在美國服役期間曾參加第二次世界大戰、韓戰及越戰，韓戰期間並曾獲得六次作戰星標。

漢陽軍艦於民國63年8月24日拖返高雄，並於海軍第一造船廠啟封，民國64年3月17日完工出廠，由總司令宋長志上將主持命名暨升旗典禮沿用原漢陽軍艦艦名及編號，民國64年6月正式成軍服役，為本軍當時唯一具備核生化防護能力之驅逐艦。該艦於民國67年11月1日進行「武進二號」系統換裝，並加裝天使二型射控系統，民國69年4月18日試射雄風一型飛彈，命中目標，成為具三度空間作戰能力之現代化戰艦。

漢陽軍艦在海軍服勤24年餘，執行海疆防衛、巡弋警戒、護航、監控、運補與演訓等任務，為捍衛海疆安全貢獻良多，於民國88年8月16日功成除役。(取材自老軍艦的故事)

