

模擬模式評估反潛清掃戰術之研究

王貴民、梁克新、韓慧林 博士

提 要：

一、二戰至今，海洋戰略與國家安全、經濟發展已無法分割。海上交通線之安全，更形成國防戰略思考中的重要議題。

二、盟軍於二戰期間針對U型潛艦之弱點以作業研究方法，發展出有效弱化U型潛艦攻擊船團能力之戰術，也相對提升船團之存活率。

三、由於潛艦能力之快速提升而更增添反潛作戰之複雜度，如何針對敵我之作戰互動以科學方法提出戰術/兵力對策方案並加以分析驗證，實為戰訓之重要課題。

四、本研究以反潛清掃任務之效益分析為主，設定潛艦偵測率為效益指標，其分析參數包括：作戰兵力型式與數量、偵測系統、搜索模式與任務執行持續時間，建構與進行反潛清掃戰術之模擬模式分析，經過500次之量化模擬，所得收斂結果為「海空協同作戰之偵測率優於單一反潛機執行任務之效能達2.14倍以上」。

關鍵詞：反潛作戰(ASW)、清掃、搜索、模擬、聲標

壹、前言

有關海上船團之護航可追溯到西元十二世紀，然而直至十八世紀末法國大革命戰爭才發展出有效之海軍船團護航戰術，以防止海盜之襲擾。攻擊船團的海上武裝載台之演進，從海盜船到二十世紀初之快速水面艦與一次大戰中之潛艦，至今之船團主要威脅仍以潛艦為首。二次世界大戰由德軍與盟軍所發展出之攻擊船團與護航作戰之戰術，沿用至今仍讓人無法捨棄。德軍發展之攻擊船團戰術〔註一〕包括：一、運用長程空中偵蒐飛機尋找敵船團；二、U型潛艦組成之狼群戰術圍攻船團；三、破解英國海軍之通信密碼；四、精進攻船武器如磁雷管與音響追蹤魚雷等。盟軍反制之道有：一、空襲德軍U型潛艦之基地；二、重新武裝商船如航空母艦型商船、具備彈射戰機之商船與巡洋艦級武裝商船；三、快速量更多之船團護航艦，如輕/重型巡防艦、護航航空母艦；四、精進反潛武器，如刺蝟彈；五、遠程空中巡邏機，用以偵蒐潛艦；六、組成大型船團(將數個船團組成大船團)以更多之護衛艦直接護航，並組成數個支援型之護航支隊執行屏衛以反制中型規模以上之水下威脅；七、根據船團速度配置護衛艦(類似間接護航)，因高速船隻將可降低潛艦攻擊之機會。此外，盟軍還以其他方式提升船團護航成功機率，如改良聲納系統、破解德軍密碼、精進雷達系統以提升空中成功偵測潛艦之機率。

臺灣與英國同屬島國，戰略上亦緊密依靠海上貿易之生命線。自政府播遷來台，美軍即協助我國建立一支以反潛作戰為主之海軍艦隊，其著眼點即在於臺灣四面環海，水下空間威脅尤重於其他空間之威脅。現今，臺灣之經貿與國民生物資之供應無一不靠海上之交通，因而海上交通線常被稱為我國之命脈，其重要性可見一斑。本研究首先透過反潛作戰戰術探討，進一步分析反潛清掃(ASW Sanitization)〔註二〕戰術及二戰後潛艦之發展、美軍現代ASW戰術概念、以及反潛作戰分類等議題，以提供海軍軍官有系統的瞭解反潛戰略、戰術與戰技之特質與重要性；其次，藉由想定之設定、模擬假設與可行方案評估，進行模式模擬分析；再其次，針對模擬分析之結果與討論，做為決策之參據，以強化決策作為並降低作戰風險；最後，期能建立一支強有力之反潛作戰部隊，以精密周延之作戰計畫與嫻熟之反潛作戰戰術執行有效之護航、維持海上航道之安全，促使以優質之海軍維護我海上之交通線，乃海軍之首務並為國軍重要使命之一環。

貳、反潛作戰戰術探討

直接與間接護航皆為反潛護航中重要之作戰概念與戰術。反潛清掃係指在所望(所想運用)海域執行反潛清掃，將威脅(潛艦)掃出此海域或將之擊沉，以利我船團在此海域之安全航進/出，此經常用於鄰近港口通往國際航道之海域，以及中遠程護航船團前置數10浬海域，欲長時以空中兵力執行此一任務，考量因素頗多，其中以反潛搜索效能最為關鍵；本節以ASW戰術發展史、美軍ASW戰術概念以及反潛清掃為主要探討因素。

一、淺談ASW戰術起源〔註三〕

基本上，反制潛艦的一方必須負責維護港灣、沿海水域與欲使用航道之安全，其手段可為反潛巡邏以及護衛船隊(護航)。二戰期間，ASW是由盟國所採取獵殺德國U型潛艦的方法，通常用於船團護航；護航主要的目的乃令德潛艦喪失攻擊船團之機會，提升船團之存活率而非擊沉敵潛艦；由於U型潛艦必須處於潛望鏡深度才能發起攻擊，故而水面艦之重要戰術就是制壓潛艦於深水炸彈有效範圍以下之深度，使潛艦失去攻擊機會。這也是釐定效益指標(Measure Of Effectiveness, MOE)的重要考量因素，當時護航效益指標係以商船成功安抵目的港為主，即以商船存活率取代盟軍水面艦擊沉潛艦之數量；並藉由護航兵力多寡(屏衛厚度)之敏感度分析，評估分析多少兵力部署可獲得較高的護航效益。

ASW戰術最主要的焦點無他，潛艦而已。而潛艦的能力(Capabilities)是戰術設計的主軸。潛艦的研究發展與運用，從二戰至今，用「驚異」二字勉可形容其演進的程度、速度與能力。就二戰時期之潛艦而言，U型潛艦在呼吸管尚未發明前之弱點包括：(一)極短的潛航持續時間(其電瓶僅能讓潛艦維持50小時之潛航)；(二)就攻擊位置時必須浮升至潛望鏡深度。根據潛艦第一個弱點，盟軍以窒息潛艦為主發展之戰術設計，係以如何使潛艦在連續50小時無法取得攻擊機會，而迫使潛艦退出接戰程序，尋求其電瓶充電之機會。又根據第二個弱點，盟軍發展出以多艦直接護航方式，運用深水炸彈迫使潛艦無法順利就攻擊位置。針對上述之兩種作戰情境，盟軍除達成其作戰目標(維護船團之安全)外，亦有擊沉敵潛艦之決心，以多配置之水面艦，在估算之預期海域，透過守株待兔方式、靜音等待潛艦浮出水面充電時機迅速攻擊。

二戰時期最成功的反U型潛艦戰術是「伏進攻擊」(Creeping Attack)輔以備用之「油漆作戰」(Operation Plaster)。首先，「伏進攻擊」戰術乃以兩艘以上之水面艦執行協同反潛作戰，由指揮艦負責保持主動聲納接觸，協同之另一艘水面艦則以低速靜音不引起潛艦注意之方式(不拍發聲納)朝潛艦位置前進，一旦伏進就位完畢，即以深水炸彈攻擊，此即為「伏進攻擊」戰術。其次，若伏進攻擊戰術失敗，因水面艦行蹤暴露，使得潛艦能掌握ASW發動水面艦之位置，而有利其執行迴避離之戰術運動。此時，外圍久候之第三艘水面艦在指揮艦之指揮下，成橫隊方式朝潛艦方向航行，並定深深水炸彈於550呎、間隔5秒方式投擲之，第四艘則在一定距離外執行主動聲納之拍發，保持與目標之接觸，提供正執行ASW攻擊艦之目標位置變化。這種類似多人同時進行分工式牆壁油漆之ASW作戰稱之為「油漆作戰」，與伏進攻擊搭配下之靈活戰術運用，擊沉U型潛艦之成功率極高。

二戰時期之護航作戰，是專注於潛艦之弱點所發展出之戰術，主要目的在逼使潛艦無法就攻擊位置(潛望鏡深度)與將之隔離於船團主體之有效魚雷距離外，以利船團安抵母港；另一嚇阻潛艦方式即為擊沉潛艦之決心與事實，此時則以技巧迫使潛艦浮現行蹤(運用長時偵潛將不利於潛艦之電瓶持續力)再加以擊沉。

二、潛艦發展

步戰後，拜科技快速發展之賜與作戰準備之需求，潛艦之進 神速，依潛艦能力所執行之任務範疇與深度更是前所未見，所形成之威脅更非二戰期間所能比擬；其最重要科技突破項目無非是匿蹤性、潛航續航力與速度、自動化戰鬥系統、武器能力與作戰效應，二戰後期潛艦呼吸管之發明，更強化其潛航能力。柴油潛艦依其代表性分別為1960年代蘇聯之Romeo級與Foxtrot級潛艦，1970年代德國之209型潛艦(現仍服役中)，1980代蘇聯之Kilo級潛艦，到2000年德國之212/214型潛艦具備氣推進系統(Air Independent Propulsion, 簡稱AIP)，可以令潛艦在不使用呼吸管前提下擁有低速時長達數週的潛航能力，其建造排程已到2012年。

與二戰相比，現代柴油潛艦性能讓U型潛艦遠遠瞠乎其後。兩時期潛艦之差異如下：潛航速度約3倍、潛航續航力(無/有AIP系統)為4.5-6倍/15-21倍、潛深為2.5-4倍、潛航更為安靜、武器更多樣性(魚雷、水雷、巡弋飛彈)。

面對如此精良的性能與武器配備，美潛艦少將Malcolm Fages警告〔註四〕：「這些具備AIP之非核潛艦以其視距外巡弋飛彈、尾跡歸向魚雷、超長續航力等能力所造成之威脅，已非傳統ASW戰術法則可以應付。」全世界擁有潛艦的國家超過40個，潛艦總數約在300至400艘之間(包括300噸以下之迷你潛艦與後備潛艦)；相對於新舊潛艦之區分，其中四分之三為1970年代後之現代化潛艦。

未來10年，潛艦汰換率最高的國家為中國大陸。中共所有Romeo級柴潛艦將換成Kilo與Song級，而Han級核潛艦將由093型取代，總計有50艘老式潛艦進行汰換。中共近期所成軍的8艘636 Kilo級潛艦進入全世界最安靜潛艦之列，所配備的尾跡歸向魚雷具備之「反制阻抗」(Counter-Measure-Resistant)功能，將令現有魚雷反制措施無效，Klub-S型潛射攻艦飛彈射程達220公里，終端速率為3馬赫；此型柴潛艦之作戰能力已對美國海上作戰部隊造成極大之威脅。

三、美軍現代ASW戰術概念

ASW是軍事作戰中最困難的任務，所消耗的作戰成本也最高，所以追求高效益減低成本是各國在規劃與執行ASW的首要決策考量，故美軍在戰術上採最具效益之水面、空中與水下三度空間方式執行協同反潛作戰

(Coordinated ASW)。無論反潛兵力之多寡，美軍認為無法規避與必須遵守的準則為ASW接戰程序。ASW接戰程序分為三階段，分述如下：(一)目標偵獲(Detected)狀態源自各方之偵測資料，潛艦之偵測 況分為可能性(疑似)潛艦(POSSUB, POSSible SUB)與機率性潛艦(PROBSUB, PROBable SUB)兩種；(二)目標位置(Localized)：潛艦接觸之範圍縮小至武器系統可遂行攻擊之程度；若在此階段發起攻擊，因武器落水位置離潛艦尚遠造成命中機率較低；(三)目標標定(Targeted)：確切掌握潛艦之精準位置，目標資訊包括方位距離、航向航速等；若在此階段發起攻擊，命中機率極高。

另以海域範圍視之則可分為兩類：區域反潛(Area ASW)與局部反潛(Local ASW)，分述如下：(一)區域反潛：作業位置在船團主體最前方，對所望與運用之海域進行反潛搜索。主要目的在於對潛艦之偵測

(Detection)與目標位置(Localization)之掌握，獵殺為次。兵力指派之主要考量：續航力與反潛力(Potency)，以定翼反潛機(Maritime Patrol Aircraft, MPA)為首選，若配備磁測儀(Magnetic Anomaly Device, MAD)與聲標更佳。部署位置：MPA配置於主體前150哩，若為具拖式聲納水面艦則配置於主體前30-50哩間。(二)局部反潛：屬於與船團主體較近之ASW。兵力部署於主體前方約12-25哩處。主 目的在於獵殺主體航道範圍 之敵潛艦。因離開主體之距離足以避開主體噪音，故以被動聲納為偵測手段，一旦獲知潛艦跡象，隨即派遣ASW直升機以吊放式聲納、MAD或聲標進行接戰，此時只要有3次以上之成功被動偵測即可施放魚雷。局部反潛之魚雷攻擊以ASW直升機為主，若採艦載魚雷如反潛火箭(ASROC)係在近距離之潛艦接觸時使用(因作戰效能通常不高，美軍將之定位為僅在騷擾潛艦之就位攻擊，以爭取更多時間有利於ASW指揮官採取其他更有效之打擊手段)。

美軍認為最有效之ASW方式是以潛制潛，運用攻擊型核潛艦在所望海域或敵潛艦出沒海域進行獵殺(Hunter killers)任務。因美軍核潛艦之靜音設計為所有潛艦中之佼佼者，其匿蹤性為其他潛艦難以匹敵，故在被動偵測上較他國潛艦技高一籌。為避開高背景噪音水域有效達成偵測目的，其執行獵殺行動大都遠離船團主體以獨立作戰為主，必須以一己之能力依據接戰準則(Rule Of Engagement, ROE)進行目標偵測與靜音之管制。基於現代柴潛艦之優異效能，美軍認為已能媲美攻擊型核潛艦，執行以潛制潛之潛艦獵殺任務。

除ASW外，能提升船團存活率之另一方法不是來自護航之兵力，而是本身的海上運動，「之航(Zig-zag)」是主體船團面對潛艦威脅時採取之戰術運動作為。現代護航作戰仍採「之航」戰術運動，起因亦是仍然有效之主因還是圍繞在潛艦的弱點，即其接戰程序。潛艦在接近水面船團主體時為保持隱匿，會避免運用主動聲納與潛望鏡偵測目標，此時完全依賴被動聲納進行偵測，為獲得更詳細之主體目標資訊，潛艦須藉助目標動態分析(Target Motion Analysis, TMA)方式，以利武器系統得解之用。完成TMA程序需時數分鐘，前提是主體採直線航行，若採之航，則先前完成之TMA無效，TMA必須因而重做。

四、反潛作戰分類

依據作戰需求可將ASW類型分為9類(如表一)，其中屬於攻勢作戰之反潛佈雷與反潛打擊不屬於本研究之範圍外，其餘7類相關之ASW皆較偏向守勢作戰海軍關心之範圍。與維持經濟活動之海上運輸相關性較高的有屏衛護航、間接護航、反潛支援與反潛獵殺等4種作戰。在美軍之ASW中最常提及之作戰類別是與對所望海域有最高相關安全之屬性為主，分別是船隊之直接護航(屏衛護航作戰)與間接護航作戰兩者。而反潛清掃是上述各項反潛作戰中的必要行動／任務。

五、反潛清掃

戰時，船團進出主要港口或船團護航，任務執行指管單位會依兵力 況在指定海域或位置派遣反潛兵力執行反潛清掃任務。反潛清掃任務的考量因素，包括有效覆蓋區(Effective Coverage)〔註五〕、兵力運用與搜索模式三種。

(一) 有效覆蓋區

所需執行搜索之海域面積(有效覆蓋區)之律定須根據情報之威脅判斷，研判出敵潛艦伏擊區(Submarine Ambush Zone)〔註六〕之可能部署位置與面積範圍。與潛艦伏擊區相關之主要因素為潛艦之作戰能力，其中的判斷包括敵潛艦型號與作戰效能。敵潛艦型號屬柴油潛艦抑或核動力潛艦，若為柴油潛艦則須判斷是新型或舊型柴潛艦；潛艦之作戰效能會因其動力系統與新舊武器系統功能之不同生差異，這些差異包括潛艦水下續航力、需否充電/充電週期、武器射程等。為達一定的作戰效益，潛艦伏擊區之面積範圍與在位執行任務(On-Station)時間，會因上述之因素而有所變化。例如，僅配備魚雷之老式潛艦，因其有限之水下續航力與接戰/脫離速度，加上必須近距攻擊，而使其伏擊有效覆蓋無法擴大，必須維持在小面積之——造成較小之潛艦伏擊區。由此可見，若欲達成某種程度之整體作戰效益，在所望海域部署之潛艦伏擊區數量與一艘潛艦之作戰效能息息相關。

(二) 兵力運用

執行反潛清掃任務之空中/水面兵力依作戰計畫之指定海域進行清掃，空中兵力為反潛機，水面兵力為反潛艦。反潛機可利用佈放聲標(Sonobuoys)群、磁測儀(Magnetic Anomaly Detector, MAD)、雷達與紅外線偵測系統(Infrared Detecting Set, IRDS)〔註七〕執行任務(如圖一)所示；水面艦則利用主/被動聲納(包含拖式聲納)或聲標清掃指定區。

搜索編隊形態(Search Pattern)〔註八、九〕係清掃兵力根據所配備反潛搜索偵測系統性能建立橫距曲線(Lateral Range Curve)，從中求得有效偵距，圖二中之聲納偵測有效距離W，乃根據這些戰術參數設計聲標佈放與搜索規則，再運用模擬模式進行分析，以求取最終之偵測率並獲最佳化結果；R為潛艦距離。

搜索模式用於反潛清掃，通常選擇隨機搜索(Random Search)模式，主要考量人性層面因素，即指揮官依其所受教育訓練、情資掌握、情境或壓力調適之——況做判斷與決策。隨機搜索是在指定海域中，以敵我互動性為主之設計，不定時改變搜索速度與航向，以令潛艦指揮官無法掌握水面艦之未來動向，將導致潛艦之TMA更加困難，增加決策難度並達騷擾潛艦之效果。本研究以隨機搜索模式做為指定海域之搜索模式。

參、問題之想定與設定

一、想定(兩軍以紅藍軍方式區分)

(一) 紅軍

1. 假設為謀我日亟之國家

與我國有領土爭議、海洋資源衝突之國家，欲以武力恫嚇方式逼我就範。該國擁有強度規模之海上作戰能力，包括潛艦部隊。

2. 設定潛艦伏擊區

在我國重要水域與港口附近部署潛艦，此部署區稱為潛艦伏擊區。先以之威嚇、繼以伏擊進出我國之船團。伏擊區之面積大小將依其所派遣之潛艦類型與作戰能力而定。本研究中將潛艦部署於重要港口外某處(由模擬系統建立)內讓潛艦於伏擊區——採隨機方式運動。

3. 潛艦任務週期

潛艦進駐的時間遠長於航渡階段，週期從任務指派開始，其任務週期可概分為補給整備、航渡、進駐、返航等四個階段(如圖三)內圖中以粗紅線表示潛艦在任務時間——的各個階段以A, B, C, D, E表示各階段起、迄點)。A-B為潛艦受命任務階段，開始航行前之作戰與後勤整備。B-C點為後勤整備工作完成後，潛艦離開母港開始航渡階段。航渡階段會花上數天，依距離及潛艦速率而定。如果安全航抵任務區，則在C點開始其伺機伏擊之任務，潛艦即展開任務——伏擊其水面之目標。當潛艦武器用罄或者達到任務規定之時間，任務即結束。滿足上述兩個條件之一，D點出現，潛艦返航。D-E點為潛艦返航階段。

(二) 藍軍

1. 反潛清掃區設定

假設我國重要商港港口被封鎖或對外航道被截斷，影響之鉅與代價將難以估算，本案選擇其中一港口為模擬分析之主要地標，為商船進出之港口(如圖四)。情資研判在港外有敵潛艦出沒，但無法確認潛艦之位置與巡邏面積，海軍根據進出商船航經(使用)之海域，在潛艦可能造成威脅之海域劃定必須清掃之範圍(面積)。商船航道之設計可依計畫(有確切潛艦情資時)或隨機方式(無情資——況)選擇航道。

2. 反潛清掃持續時間

敵潛艦艦型與充電需求、我反潛艦艦之兵力數量/續航力與作戰武器儲量、商船數量與航行最大速度以及天候狀態，皆為律定反潛清掃持續時間之主要考量因素。

二、模擬假設

(一) 紅軍

1. 在我重要港口與航道部署數個潛艦伏擊區。

2. 在我重要港口外設有一處新型柴潛艦伏擊區：10×10 平方哩。

3. 潛艦行動：以3至5節航速在伏擊區——潛航。

4. 潛艦電瓶充電：於船團進出或電瓶——況離開現場至安全水域執行充電，設該潛艦電瓶充電週期為天(每隔5天需充電一次)。

5. 執行任務週期：30天。

(二) 藍軍

1. 運輸船團：5日進出一次。

2. 航道設定：以港口為圓心，取至國際水域為半徑，假設P為港口，X為港外隨機選擇點，連結PX兩點即是船團可能選擇之航道(如圖五)，其所形成之圓周上隨機取點與圓心之連線即為船團航道；並於執行蒙特卡羅模擬(Monte-Carlo Method)〔註十〕時，——次模擬皆以隨機方式生一條新航道。

3. 設定反潛清掃之海域於港外，面積為30×60平方哩。

4. 使用兵力：反潛機(類似西方國家之MPA)〔註十〕與反潛艦(類似美軍FFG-7級艦)進行海上協同清掃任務(如圖六)。

5. 反潛搜索手段：MPA 以佈放聲標為主，佈放之模式與聲標數量在模擬系統選擇 FFG-7 則以被動聲納為主（即拖式聲納）。

6. 前後 MPA 交接，作業資料銜接假設為無縫隙 (Seamlessness)。

7. 海空協同作戰時，由 FFG-7 擔任戰術指揮與管制 (Command & Control, C2)。

8. 模擬次數：500 次。

三、行動方案 (兵力形態與規模)

在指定之 30×60 海區範圍，執行反潛清掃使用兵力之假設方案有 (如表二)，區分為單機任務與機艦協同兩案。
(一) 方案一中，所指派之任務兵力為一架 MPA，在指定海域執行聲標搜索，按計畫佈放聲標，飛行路徑跟隨佈標區行動，佈標區動時，MPA 於原地按所計畫之搜索模式進行反潛清掃作業 (如圖七)。

(二) 方案二則由兩種反潛兵力組合成反潛清掃區隊，兵力分別為 MPA 與水面艦 FFG-7，由水面艦擔任海上指揮官負責指管事宜；海域分為兩個責任區，各自執行一處之反潛搜索，MPA 採聲標群搜索方式，FFG-7 則以被動式聲納執行隨機搜索。

四、效益指標 (Measure Of Effectiveness, MOE)

選擇何者為研究量測指標端視研究之主軸而定，其關鍵即在如何能從系統之運作過程中觀察有意義的資料流全貌，並以之量測系統運作之效益，做為決策者決策之依據。常用於反潛作戰之效益指標有妥善率、偵測率、殺傷率、存活率與船團護航成功率等。妥善率係指兵力與武器系統之妥善程度或可靠度 (Reliability)，如聲納/聲標等偵潛系統、機艦之引擎/主機之故障發生率與能否達成任務有密切之關聯，屬於工程階層。偵測率則指作業中之偵潛系統成功偵測潛艦之機率，為作戰時搜索能否成功之依據，也為接戰攻擊階段之必要條件。殺傷率則為以武器進行攻擊，攻擊成功之機率稱之。存活率表示在接戰過程中未被擊沉之機率。

本研究主在分析不同兵力組合下運用特定搜索方式進行固定海域 (面積) 之搜索，量化指標並未及機件故障武器發射等項目，系統之運作係以偵測率為量測各可行案主要之效益指標。

肆、模擬模式

本研究之模擬主要目的係以科學量化方式協助戰術運用可行方案之模擬分析。藉由場景設定與電腦快速運算，模擬可提供使用者進行反潛搜索戰術實驗，在輸入反潛機的飛行路徑與佈標計畫後，即可透過潛艦潛航的路徑模擬，以分析解算反潛機搜索戰術的偵測效能。將設定完成之兵力/戰術方案與場景，透過系統使用蒙特卡羅方法進行多次對抗模擬，統計各方案之 MOE 後即可針對量化結果進行決策分析 [註十一]。以下針對模擬模式發展所根據之作業邏輯與概念、過程加以說明 (如圖八)。

一、反潛清掃作業邏輯

系統模擬發展之始，須先瞭解問題與上層作業概念，繼之建立概念性模型做為模擬系統發展之架構。依據美軍殺傷鏈 (Kill Chain) 之接戰程序：F2T2EA (Find-Fix-Track-Target-Engage-Assess，發現-定位-追蹤-標定-接戰-戰損評估)，Roy E. Rice 將之實證簡化為 FFF (Find-Fix-Finish，發現-定位-摧毀)，其定義為：殺傷鏈程序之首一定要先偵知、獲得與確認目標 (為發現階段)，進而對目標進行追蹤、獲得精確位置與發送此資訊給相關單位 (為定位階段)，最後依接戰準則進行目標之接戰 (為摧毀階段) [註十二]。在反潛清掃之作業邏輯引用 FFF 概念，在順序上概分為搜索、接近與接戰三部分 (如圖八)。無論敵潛艦是否進入藍軍之反潛載台執行指定區域 (搜索區)，在被確定偵測前，藍軍保持常態性反潛清掃，此階段律定為搜索階段。若進入此區之潛艦為藍軍之偵測系統所偵測，則執行接近 (Approaching) 之戰術運動，律定為接近。

二、概念性模型 (Conceptual Model)

概念性模型主要目的係在作業邏輯上取得建構模擬系統之整體概念，概念上包括三個決策點與四個事件，依邏輯順序分述如后。藍軍所使用之兵力為水面或空中反潛作戰載台。若潛艦伏擊區或活動區域與藍軍所望海域之反潛清掃作業重疊，則存在成功偵測與接戰之可能，此時模擬系統根據雙方之位置，開始比對目前彼此位置所內之距離是否小於聲納系統之偵測距離或潛艦進入標群區域，若是則表示潛艦進入反潛兵力之偵測範圍。一旦進入藍軍範圍，系統則依據聲納原理持續以聲納進行目標確認，目標一經確認，即依作戰規則進入接戰程序，將目標在武器作戰範圍，則發起攻擊。本研究之概念性模型如圖九。

伍、模擬分析與討論

模擬之設計將空中反潛機、水面反潛艦、水下目標 (潛艦) 整合在一個作戰場景，透過系統使用蒙特卡羅方法進行多次模擬，藉以統計所提出方案之結果。除方案效益之比較外，同時提出進行本議題模擬過程相關觀察之議題分析。

一、方案效益分析

執行反潛清掃任務提出兩可行方案：一為以單機 (MPA 一架) 執行任務；二為以海空機艦協同方式執行任務 (如表二)。

(一) 方案一：MPA 空中單機作業。依模擬假設之計畫指定海域位置與面積，建立反潛清掃區 (如圖七)。聲標佈放陣列共有五個區，一個佈標區使用八個被動聲標，被動標的偵測距離以常態分配隨機方式設定，偵距期望為 μ ，標準差為 σ ，本研究將之設為 $\mu=1,500$ 碼， $\sigma=600$ 碼。平均一個標區之監視時間為小時。MPA 將依續飛抵佈標區執行交付任務；經模擬分析，其效益指標累積偵測率為 0.26。

(二) 方案二：海空機艦協同。本方案之清掃區分為兩區，分別指定機艦執行任務 (如圖六) 狀假設情況如右：水面艦使用被動聲納，偵測距離為常態分配隨機變數， $\mu=4000$ 碼， $\sigma=500$ 碼。平均一個標區之監視時間為 2 小時，水面艦反潛清掃時間為 24 小時。經模擬分析，其效益指標累積偵測率為 0.557。

(三) 方案比較：兩方案之比較，機艦之協同反潛清掃效益超過僅以單機進行反潛搜索 2.14 倍以上 (如圖十)。

二、討論

上述兩案之分析屬於簡單場景考量下之系統模擬分析。若作戰計畫參謀或其指揮官有更多之考量，可繼續將相關參數或新想定重複設定與建立，經反覆模擬，以參數分析 (Parametric analysis) 方法分析各個可行/建議方案。經觀察，可能納入計畫考量之因素概述如下。

(一) 依潛艦之電瓶效能設計反潛清掃任務持續時間

新型之柴電潛艦電瓶之持續時間，依潛航速度 5 節計，約 4-6 日，亦即潛艦充電週期將不超過 4-6 日，遠優

海老式潛艦之性能。長時之海上監偵，對空中之兵力負荷十分吃重，若一架MPA負責8小時之監偵作業，則日需3架次。然此型反潛機之出擊率(Sortie Rate, SR)影響執行任務5日中之兵力總需求，其中考量的因素包括：留空時間、往返任務區與機場時間、飛機周轉時間(Turn-Around Time)與維修需時等。依據美國蘭德公司之數據〔註十三〕與計算，在未計入飛機妥善率、料配件充裕與取樂觀前題下，系統複雜度較高之MPA其SR為0.8(SR會依滯空時間之長短而不同，此處以8小時計)每在指定海域以一日維護4小時，共5日之任務時間，其兵力需求為19架。

(二) 主、被動聲納之思考

雖然主動聲納之運用在近代被動聲納之崛起，又因主動拍發會引起潛艦注意之疑慮，而有逐漸被忽略之現象，然而如何以主被動聲納之隨機式混合運用，應是現代反潛作戰中一個議題。類似議題如：

1. 在聲標之佈放策略中，精算主、被動標之數量與位置之佈放，以主動聲標阻擋潛艦航道或促使潛艦採取迴避程序，以被動聲標持續偵測其位置，達到類似口袋式圍捕潛艦之戰術企圖(如圖十一)。
2. 在高密度船運或漁船之海域中拖式聲納有其缺失，如航行船隻之所造成背景噪音或拖纜與漁船拖網間之安全因素。此情境下，若偵潛之執行有必要性，則主動聲納是為重要之憑藉，其聲納之拍發方式如隨機式、時間間斷式拍發，對於偵測率/影響潛艦判斷是否有其功效。
3. 現代潛艦之靜音程度，為往昔難以望其項背。在潛艦刻意靜音之情況下(如以不超過5節之速度潛航)，以被動式聲納偵潛，其成功之偵潛有其難度。因而在船團之護航與航道之清掃上，研判運用主動聲納之機會將提升。但如何重新依據偵測需求計算護航兵力之配置、兵力規模與戰術協同，是一個十分重要之問題。

(三) 混搭兵力運用之優點

1. 可減輕MPA之高頻率任務負擔

航空器之妥善率遠高於地面或海上之載台是常識。以反潛清掃任務而言，不論時間長短，欲持續常保一架在空中機，必須計入妥善率因素，所需擁有之妥善機數量與後勤維護之質、量，對海軍而言是項極重之負荷。為維持指定海域之持續反潛清掃，以水面艦擔任任務之指管角色，不僅可以長時保持清掃海域之即時資訊，亦可免於空中兵力因妥善率因素生之作業間斷帶來之海域偵測問題。

2. 長時保持反潛巡邏兵力於所望海域

冬防期間之台海周邊海域天候海象不佳，影響飛航安全與任務品質甚鉅，然卻是聲納效能最佳時段，為維護航道安全必須保持現場之反潛巡邏兵力時，水面艦是不二之考量。

3. 擁有水面兵力之C2可維持無縫式(Seamlessness)之反潛監視

空中兵力之續航力遠不如水面兵力，長時之反潛任務必須進行空中兵力之替換，如何保持監視海域情資與作業之一致性，水面艦則扮演指揮管制重要之角色。

(四) 空中兵力維持不變之情況下增加水面兵力為兩艘之議題

1. 衝刺與漂移(Sprint-and-Drift)戰術之運用：美軍核潛艦以此戰術作為船團護航之戰術法則，即在主體前約40哩前以高速衝刺(Sprint)至預設與主體之距離後，旋即以低速漂移(Drift)方式執行被動搜索(運用拖式聲納)。若回顧二戰之獵殺U型潛艦之雙艦戰術，現今參照其雙艦之協同作戰方式，若改以指揮艦為偵測艦採Sprint and Drift戰術，高速衝刺後之低速漂移時，運用隨機拍發聲納方式擾亂或吸引潛艦之注意力，屬艦則在清掃區另一端，以低速靜音與被動聲納偵測方式搜索潛艦，待命攻擊(運用ASW直升機)，其效果可作後續分析驗證。

2. 傳統護航模式與現代潛艦威脅下之護航概念：傳統式護航兵力之配置(如圖十三)，主要目的在防止敵潛艦之成功佔位，執行對船團之攻擊，MOE以穿透率計之。U型潛艦之魚雷攻擊必須符合兩要件：浮升至潛望鏡深度與進入有效之魚雷射程。是故，傳統護航之兵力皆以近接船團之配置為主，縱使潛艦穿透攻擊，但其逃逸之機會也因顯著之燃燒基準點(Flaming Datum)而大為減小，此可發揮對潛艦嚇阻之效果。

3. 若空中兵力缺席時其基本之反潛效益仍然提升：前所模擬分析之單艦偵測率為0.26，若以兩艘水面艦，至少可獲累積偵測率為0.45，雖然不及單機單艦之協同作戰所得之0.557偵測機率，但若能運用靈活之戰術(如上述)則存在帶給潛艦之嚇阻效應。

然以現代潛艦之作戰能力，遠距離之偵測、高效之遠攻武器、靜音能力與持久之潛航續航力，可在遠距進行飛彈攻擊或不需穿越屏衛即可進行魚雷攻擊，這種潛艦已令傳統之直接護航作戰完全失效。現須考量之的護航作戰，應對敵我雙方之作戰能力進行強弱點分析，再視是否拉大屏衛與船團主體距離能建立起較佳的屏衛效果？運用空中兵力與水面之主被動聲納混編之三層屏衛(如圖十四)內層屏衛(Inner Screen)配置具備主動式聲納之水面艦，中層(Middle Screen)則在主體噪音外之距離配置具被動聲納與ASW直升機之水面艦為主，外層(Outer Screen)則為MPA以聲標與MAD進行反潛作戰。仍以穿透率做為MOE計算各層屏衛之效益。

陸、結語

自本研究之假設案例分析顯示，單機作業之效益遠不及海空協同作戰。其中若能針對聲標類型、佈標方式、佈標數量、水面艦之反潛搜索速度與模式、主被動聲納之隨機運用、以及清掃面積和持續時間等因素進一步考量納為分析要項，則可再發展出其他可行方案，分析結果將能做為決策之參據，是為強化決策作為並降低作戰風險之上策。

由二戰以來，反潛作戰即以雙載台或雙艦以上之兵力執行才足以擁有優勢。然今昔相照，潛艦之進已遠非昔內所能比擬，是以單機執行海上反潛作戰有其外在之限制(如妥善率與天候限制)。今以雙載台執行協同反潛作戰，從案例分析中可知其協同作戰之效益增加，其他協同作戰時之戰術作為如主被動聲納交錯運用或配合高速衝刺-漂移(Sprint-and-Drift)戰術隨機拍發聲納、聲標戰術中以主被動聲納之配置形成口袋戰法、天候影響下之反潛清掃依賴單一水面艦之戰術運用、海空協同作戰時之C2能維持反潛清掃任務資訊不因空中交替而生斷續性問題等，在效益上是否會呈現差異，則可藉助系統模擬或其他軍事作業研究方法協助進行分析，以建立戰術發展與問題解決之能量。

中共之潛艦更新速度在未來十年居世界之冠，積極圖謀我南沙主權之越南亦新添6艘新型之Kilo級潛艦以強化其在南海之軍事能力，任一新型潛艦對我海上航運與重要港灣所造成之威脅在程度上將是前所未有。我應如何以漸次老舊之水面艦與即將成軍之美軍除役長程反潛機來因應此一前所未有之威脅，係海軍必須面對之重要

議題。若能建立科學量化方法，以之評估舊有戰術之適用性、研發新進載台(如MPA)編成後在我周邊狹窄空/海域獨立作業方式、或與現有兵力協同作戰之在地化戰術(Localized Tactics)，則可令未來之兵力運用更能符合成本效益。

註一：Convoy - Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Convoy>.

註二：John M. Longhini, Steven J. Scott. "Digital Video Transmission from the P-3C to Beyond Line-of-Sight Destinations", Master's Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, CA U.S.A.1995.

註三：王貴民、梁克新、鄒明城，「反潛機戰術設計輔助系統操作手冊，國科會國防科技學術合作計畫成果報告」，附件一，NSC 97-2623-7-158-001-D，2008。

註四：John R. Benedict. The unraveling and revitalization of U.S. Navy antisubmarine warfare, Naval War College Review, Vol. 58, No. 2, Spring, 2005.

註五：J.R. Frost, "Principle of search theory", Soza & company, Ltd., U.S.A. 1999.

註六：Roger Cliff ? Mark Burles ? Michael S. Chase ? Derek Eaton ? Kevin L. Pollpeter, "Entering the Dragon's Lair - Chinese Anitaccess Strategies and their Implications for the United States", Project Air Force, RAND, 2007.

註七：Federation of American Scientists, "P-3 Orion", <http://www.fas.org/index.html>, 2009.

註八：Kuei Min Wang, Ko Hsin Liang, Lin Hui, Shu Shen Wai, Tzu Miao Tung, "The Insights Of Designing An Effective ASW Barrier For Campaign Level's Battle Management In Terms Of Systematic Thinking And Decision Making Process", 2007 International Symposium On Knowledge-Based Economy & Global Management, Taiwan, 2007.

註九：王貴民、梁克新、衛樹生，「ASORPS在反潛阻柵上的應用」，水下科技學術研討會，台北，2007年。

註十：蒙地卡羅是一種數方法，系統的輸入並非確定之唯一而是利用亂數取樣(Random Sampling)方式獲得之隨機，以所定之信賴區間求取重複之模擬次數解決數學問題。

註十一：Richard E. Brooks, "The Multi-Mission Maritime Aircraft and Maritime Patrol and Reconnaissance Force Transformation", Johns Hopkins APL Technical Digest, Vol. 24, No.3, 2003.

註十二：Roy E. Rice, Quantifying "Persistence" in the Context of Find-Fix-Finish(FFF), Phalanx, 2007.

註十三：Craig Sherbroke, Using Sorties vs. Flying Hours to Predict Aircraft Spares Demand, McLean, Va.: Logistics Management Institute, April 1997, (數據引用自蘭德公司的Craig Sherbroke)。