

# 電腦兵棋系統運用於公部門之主要趨勢

林傳凱、謝沛學

網路安全與決策推演研究所

## 壹、前言

以「數學模型」與「運算能力」為核心的電腦兵棋系統，隨著軟硬體科技技術的持續進步，已成為運用最為廣泛的戰爭模擬分析工具之一，支撐各國政府單位進行「方案評估」（Course of Action Analysis）、「戰役分析」（Campaign Analysis）與「作戰概念發展」（Concept of Operations, CONOPS）等任務。儘管現階段兵棋模擬系統的發展尚未出現可比擬當初引進電腦系統，將「圖上兵棋」進化至「電腦兵棋」的「顛覆性」躍升。電腦兵棋系統在「涵蓋的廣度」及「分析技術」等領域仍持續獲得不同程度的進展。

## 貳、從「純軍事作戰模擬」向「全政府體系模擬」的延伸

儘管軍方向來是電腦兵棋模擬系統最主要的發展動力與客源，近年來對電腦兵棋建構的需求，已不再侷限於純粹軍事作戰領域。特別是對「非戰爭軍事行動」（Military Operations Other Than War, MOOTW）的重視，軍事與非軍事議題的界限漸趨模糊，軍隊與其它公私部門之間的頻繁互動不可避免。例如，由於在應處核生化災變以及在動員與後勤管理的專業能力，軍隊成為 COVID-19 爆發後，大部份國家政府尋求協助時的選項。基於對災害應處、危機管理與關鍵基礎設施防護的需求不斷上升，電腦兵棋系統的建構必須能跳脫單純的軍事作戰，進一步拓展至更為複雜多元的社會領域，包括政治、經濟、國家關鍵基礎設施等。

目前國外主要軍事電腦兵棋系統，亦逐步發展出模擬分析

MOOTW 的功能。例如，以國軍與北約組織所使用的「聯合戰區層級模擬系統」(Joint Theater Level Simulation, JTLS) 為例，美商羅蘭公司 (Ronalds & Associates Co.) 開發「聯合多層模擬模型」(Joint Multi-Resolution Model, JMRM)，作為 JTLS 與另一套主流軍事戰術模擬系統—「聯合對抗戰術模擬系統」(Joint Conflict And Tactical Simulation, JCATS) 的對接工具。使用者可運用模擬系統所提供的「想定狀況編輯器」(Scenario Event Editing & Display System, SEEDS) 執行各類輔助想定特殊狀況編排，進一步建立專屬特定演習目的之「災害防救推演輔助工具」(Human Assist Disaster Relief, HADR)，利用 JTLS 與 JCAT 進行不同層級的災害防救應變兵棋推演。國軍曾於 2011 年利用這套模式建構想定場景，假設強震發生海嘯造成北部二座核能發電廠受創，引發如日本福島核電廠輻射外洩，配合電腦兵棋推演進程自動進行狀況發布作業，協助政府進行相關部會救災及防護應變演練 (圖 1)。<sup>1</sup>



圖 1、國軍使用 JTLS-GO 進行災害防救電腦輔助指揮所演習

資料來源：Col. Tony Kuo, “JTLS in R.O.C. (Taiwan),” Paper Presented at 14th JTLS International Users Conference (Taipei: Information Staff Officer Joint Exercise & Training Center, 2011/10/25).

<sup>1</sup> Col. Tony Kuo, “JTLS in R.O.C. (Taiwan),” Paper Presented at 14th JTLS International Users Conference (Taipei: Information Staff Officer Joint Exercise & Training Center, 2011/10/25), p. 7.

另一套由法國廠商 MASA 所研發的電腦兵棋系統 SWORD，亦開發出專門為「災害應處、關鍵基礎設施防護」演訓為目的的模擬軟體 SYNERGY。該系統具有整合與管理「地形和高程」資料（Terrain and Elevation）、道路網向量資料、影像圖層及建築物向量資料等地形資料的功能，使用者可以此建立核生化事件、恐怖攻擊、自然災害（洪水、地震、海嘯）、平民和難民管理等「非戰爭軍事行動」的地圖與想定場景。模擬場景所設定的災害狀況，如洪災或核污染及化學污染範圍，會隨時間遷移於地圖上呈現逐步擴散之效果，並對模擬系統想定場景中的行為者產生影響，如部隊單位偵蒐率與通訊能力受損等。模擬系統中的建築物、道路與橋梁等設施的損毀，將引發交通阻塞與民眾的聚集與大規模流動。兵推參演者則透過系統中的修復與疏導功能，模擬與演練災區重要通聯管道之修復及人員交通疏導的流程（見圖 2、3）。



圖 2、SYNERGY 系統模擬洪水災害場景圖

資料來源：〈MASA SWORD 危機處理模擬－核災與水災〉，《YouTube》，柏輝科技上傳，2013 年 8 月 29 日，  
<https://www.youtube.com/watch?v=Dp89uVnzXLY>。



圖 3、巴西布盧梅瑙市 (Blumenau) 使用 SYNERGY 進行洪災應處指揮所演訓  
資料來源：〈產品介紹：MASA SWORD〉，《柏輝科技》，<http://www.aben-tech.com/products/masa-sword/>。

「全政府途徑」 (A-Whole-of-Government Approach) 模擬的需求對電腦兵棋系統的發展既是機會，也帶來不小的挑戰。這是因為軍事作戰模擬雖有成熟的架構，但「非戰爭軍事行動能力」面臨許多與作戰模擬完全不同的新問題，如對具有主觀偏好的社會群體行為建模等。以新冠肺炎病毒傳播為例，如何類比病毒的傳播效果對社會、經濟甚至軍事行動的影響。甚至是「認知作戰」等灰色地帶威脅的衝擊。雖然這些議題與分析已有不少科學家展開相關研究，但由於涉及的因素眾多，特別是人與人之間的社會互動行為，要建立反映真實情況的兵棋模型難度不小，需要在建模方法上突破。

### 參、以不同層級模型系統的構聯呈現全領域作戰場景

儘管實際成效未知，自美陸軍於 2016 年所提出的「多領域作戰」概念 (Multi-domain Operations) 逐漸升級為「全領域作戰指管」 (Joint All-domain Command and Control, JADC2)，該作戰概念儼然已成為美軍現行建軍發展的指導原則，而如何透過「軍事模擬」協助美軍推動 JADC2 亦成為近年的「全球軍事模擬年會」 (I/ITSEC) 的會議主軸之一。

由於「全領域作戰指管」涉及到如何連結空中、陸地、海洋、太空及網路空間的感測器，並在未來以「網路化」（Network-centric）方式進行作戰，此種新型態的聯合作戰概念，對電腦兵棋系統的運作架構將有更高的要求。舉例而言，儘管現行主流的「戰區／戰役層級」（Theater/Campaign Level）電腦兵棋已經可以處理多個領域的聯合作戰場景，但大多數的電腦兵棋系統都有其較為擅長處理的作戰領域。例如，國軍所使用的「合成化戰區作戰研究模式」（STORM）與「延伸式防空作戰模擬」（Extended Air Defense Simulation, EADSIM）的分析能力，以處理海空戰為主。近年來頗受美國及其北約盟邦軍事單位青睞的電腦兵棋軟體《指揮：現代作戰》（Command: Modern Operations，以下簡稱 CMO），儘管系統建構的作戰場景橫跨陸、海、空、天，甚至亦可呈現網路與電子戰的效果，CMO 系統最擅長的作戰場景仍然是以海、空戰為主。這可由該軟體的前身稱為《指揮：現代海空作戰》（Command: Modern Naval/Air Operations）看出。前述歐系電腦兵棋 SWORD 則是以陸上作戰場景的處理最具優勢，儘管功能上亦可模擬海、空領域。

簡言之，為了儘可能如實呈現「全領域作戰指管」，必須整合能處理不同作戰領域的電腦兵棋。針對「進行整合」這個部份，美國國防部「模式模擬辦公室」（Defense Modeling and Simulation Coordination Office, DMOS）<sup>2</sup>已經開發有「高階模擬架構」（High Level Architecture, HLA），此分散式模擬的高層架構，可用以整合或連結模式模擬的六大層面（戰區戰役、小部隊戰術任務、載台、武器偵測裝備、細部工程、環境資料庫）。<sup>3</sup>然而，即使整合不同系統的工作解決，以電腦兵棋模擬分析「全領域作戰指管」仍有其它挑戰。最主要的問題在於「網路空間域」以及「電磁頻譜作戰」，現階段仍難以模擬，至少無法像其它「實體作戰」（Kinetic

<sup>2</sup> 該單位現改名為 Modeling and Simulation Enterprise (MSE)。

<sup>3</sup> 李文伯，〈合成化戰場雛形建置運用之研究〉，《陸軍裝甲兵季刊》，第 243 期，2017 年 10 月，頁 81-106。

operations) 的模擬一樣清楚明確。目前電腦兵棋系統對於網路與電磁領域這類「非實體作體」(Non-Kinetic operations) 的模擬，主要是以「效基作戰」(Effect-based Operations) 的方式呈現，即在遭受網路與電磁攻擊的條件下，這次作戰行動所產生的效果會剩多少。至於影響的比例，通常是事先由「議題領域專家」(Subject-matter Experts) 討論出共識，作為電腦兵棋系統計算網路與電磁攻擊效果的建模參考。這種方式本無可厚非，也確實是難以取得實際數據的情況下的解決方式之一。唯此種建模方式所得出的網路與電磁作戰效果有多大擬真度，則值得商榷。

另一個解決之道則是將「任務層級」(Mission Level) 與「戰術層級」(Tactical Level) 的電腦兵棋系統作結合，透過小單位的作戰模擬甚至是實兵演訓所得出的數據，再回饋給「任務層級」電腦兵棋進行建模的工作。唯此種方式除了需要有「網路／電子戰靶場」(Cyber /Electronic Warfare Range)，電腦兵棋系統的架構則需要在「開放性」與「支援多解析度」這兩個技術點上加強發展，才能因應對跨戰略、戰役、戰術不同層次、不同領域的模型建模需求。<sup>4</sup>

## 肆、對無人智慧載具的建模是電腦兵棋的新課題

五角大廈當年為了因應大國衝突所推動的「第三次抵銷戰略」，即強調透過「人工智慧」與「自主系統」等「顛覆性科技」(Game-changing Technology) 重拾並維持美軍的優勢。<sup>5</sup>儘管「第三次抵銷戰略」已被其它更新穎的作戰概念取代，以「人工智慧」與「自主系統」驅動軍事變革成為美軍所奉行的圭臬。如何針對無人智慧系統進行建模並在電腦兵棋中呈現，是電腦兵棋系統開發的

---

<sup>4</sup> 何為「網路/電子戰靶場」請參閱：黃信中，《數位靶場的評估與對應作戰目標需求的專案管理》(新竹：交通大學資訊學院國防資安管理碩士在職專班碩士論文，2021年)。

<sup>5</sup> Cheryl Pellerin, "Deputy Secretary: Third Offset Strategy Bolsters America's Military Deterrence," *DOD News*, October 31, 2016, <https://www.defense.gov/News/News-Stories/Article/991434/deputy-secretary-third-offset-strategy-bolsters-americas-military-deterrence/>.

新課題。此次本院 War Room 團隊赴美進行軍事模式模擬會議參訪期間，分別與 JLTS 兵棋系統原廠美商羅蘭公司代表，以及軍事模擬研究領域重鎮－美國海軍研究所（Naval Postgraduate School）教授會面時亦曾探討「無人載具作戰運用」的模擬分析。雙方皆同意現行電腦兵棋系統對於模擬「人為控制」（Remote-controlled）與「自動的」（Automated）無人作戰載具，並沒有太大難度。惟目前的電腦兵棋系統，尚無法有效呈現「自主的」（Autonomous）無人載具。真正的挑戰在於模擬「自主的」無人載具如何適應複雜戰爭環境，以及有人／無人混合編隊與無人蜂群協同作戰等情境。也就是如何反映從過去的「人在回路」（Human in the Loop）到未來以「演算法」（Algorithm）為核心的作戰模式之變化，是未來電腦兵棋系統建模面臨的重大課題。

## 伍、以輔助工具加強電腦兵棋的分析功能

隨著電腦軟硬體技術的進步，現行電腦兵棋系統的功能亦逐漸擴充。這樣的好處是能處理複雜、龐大的想定場景；缺點則是讓電腦兵棋系統的操作與推演的參與變得令人望而生畏。特別是電腦兵棋背後的運作邏輯主要是以數學演算法所支撐的「交戰裁決規則」（Adjudication）。這些規則與所相應產生的模擬資料龐雜，經常造成「推演後檢視」（After Action Review, AAR）難度大增，連帶使得理解兵推模擬分析結果不易。以筆者與美國國防部模式模擬辦公室交流的經驗為例，即便是講究科學驗證作戰概念，並有全球最大軍事模擬產業聚落的美國，其國防部負責模擬分析的單位，在推廣軍事模擬上仍感受到一定阻力。最大的問題在於，決定建軍走向與預算編列分配的軍方高層與國會議員，擁有操作與解讀兵棋模擬軟體的專業技術者並不多見，需要以清楚易懂、吸引目光的簡報方式來說服。<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> 謝沛學，〈從遊戲到實戰：商用兵棋軟體如何協助軍事分析與訓練〉，《國防安全雙週報》，第6期，2020年7月3日，<https://indsr.org.tw/respubcationmenus?uid=12&resid=777>。

解決這些問題的方式有數種。一是透過外掛的工具簡化兵棋輸出資料的分析。現行的主流電腦兵棋系統，基本上都內建語法（例如 Lua）供使用者自行編程定義希望收集的資料種類，並支援以 CSV 或 SQL 格式輸出資料，以利進行後續的分析。甚至提供將輸出的資料直接以圖表呈現的功能，讓分析的結果清楚易懂。再者，加強電腦兵棋系統本身的「視覺化」呈現功能，亦可讓參與推演的中高級指揮官能更容易掌握兵棋態勢。要成功說服對方接受軍事模擬的價值，則必須先使其願意閱讀、聽取分析報告。然而，現行主流的「軍規」模擬軟體，例如我方從美國引進的 STORM，EADSIM，其分析結果的呈現畫面相當簡略，難以吸引人（見圖 4 與 5）。

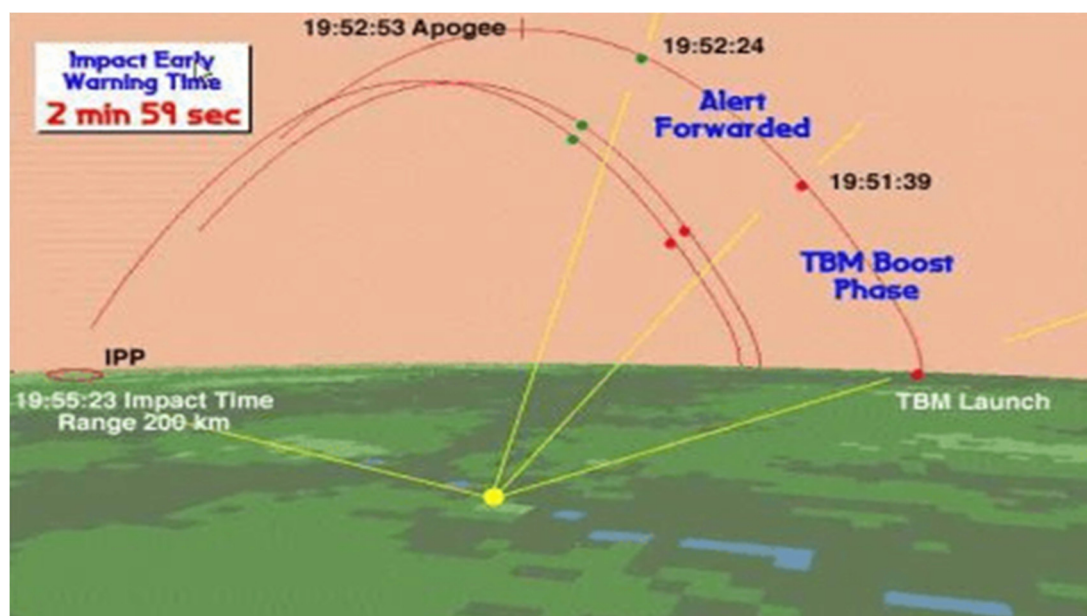


圖 4、軍規兵棋模擬軟體 EADSIM 畫面截圖

資料來源：“EADSIM 16.0,” *SoftwareInformer*,  
<https://eadsim.software.informer.com/16.0/>。



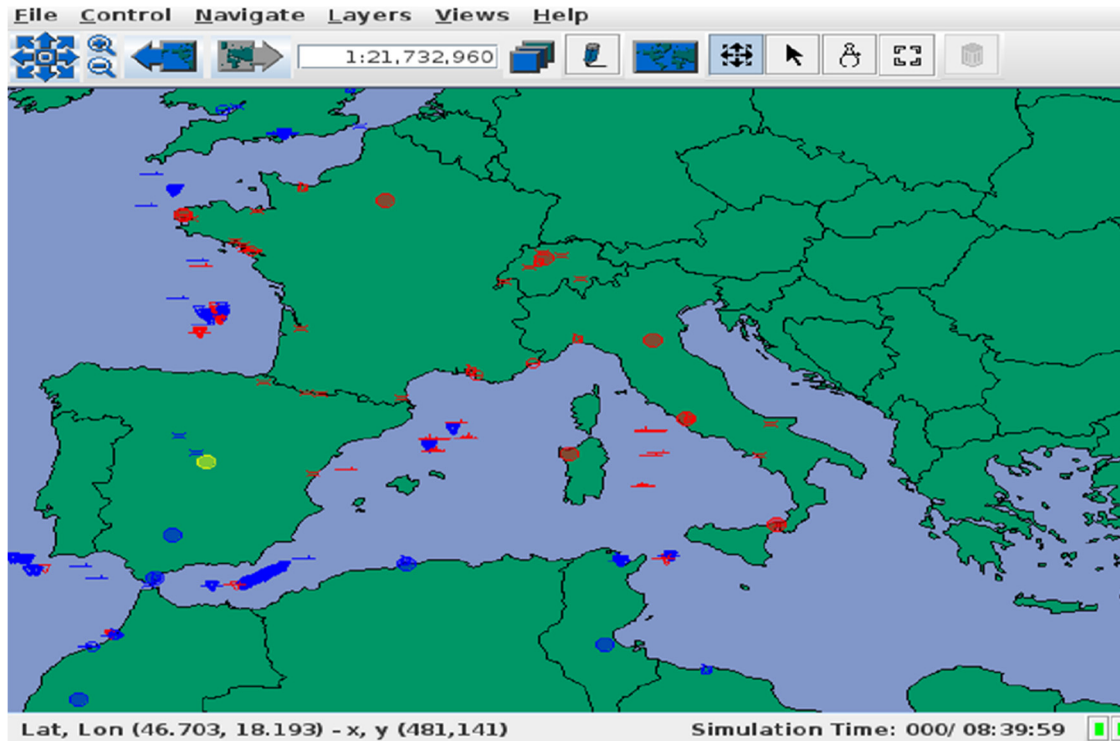


圖 5、軍規兵棋模擬軟體 STORM 畫面截圖

資料來源：Christian N Seymour, “Capturing the Full Potential of the Synthetic Theater Operations Research Model (STORM),” *Naval Postgraduate School*, September 2014, <https://www.semanticscholar.org/paper/Capturing-the-Full-Potential-of-the-Synthetic-Model-Seymour/05ec759e7bb9ed2d5ee77418a61e898a39f2902d>.

以近年電腦兵棋市場頗受矚目的 Command: Modern Operations 為例，該系統具有十分強大的「視覺效果」（visualization），採用類似於 Google 地圖的 3D 環境地圖（見圖 6），可顯示從幾百公尺到整個地球的視角。使用者可在地圖上使用自訂位置覆蓋圖。如可用港口、空軍基地或戰略目標進行地圖覆蓋，並在這些位置上放置碼頭、掩體、煉油廠等目標單位。同時進行地面目標打擊的「任務層級」模擬與世界上多個位置的區域衝突的「戰區層級」模擬。

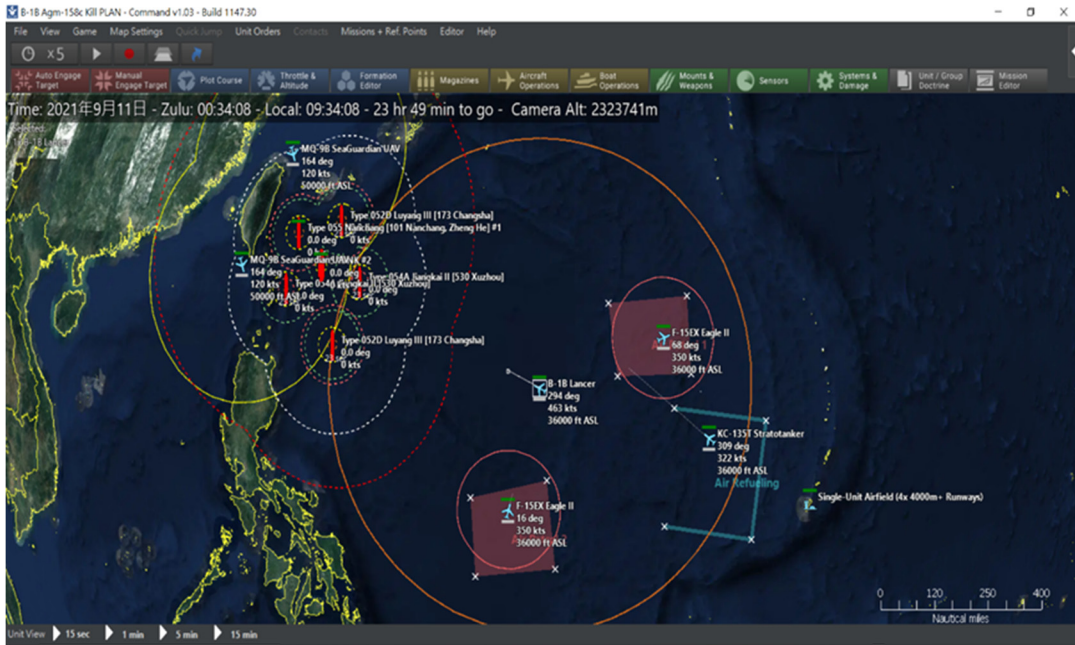


圖 6、《指揮：現代作戰》模擬軟體畫面截圖

資料來源：作者自行截圖自軟體平台。

此外，CMO 的原廠 Matrix Games 刻正與 IBM 合作開發新的功能「互動式海上任務規劃工具」（Interactive Maritime Mission Planning Tool），允許使用者利用網路上收集到的大氣、水文等公開情資，加強系統對海上與水下作戰戰場環境的模擬真實度（圖 7）。



圖 7、Matrix Games 與 IBM 合作開發「互動式海上任務規劃工具」

資料來源：作者自行拍攝於 2022 年 IITSEC 年會會場。

## 陸、小結

電腦系統所帶來的客觀「裁決」(adjudication)機制，最大程度避免人為主觀偏見之影響，大幅提升了兵棋推演對於不同行動方案進行評估與比較的能力，電腦兵棋系統也因此被許多政府單位選為戰爭模擬分析的主要工具。隨著軟硬體科技的進步，電腦兵棋能模擬的領域及議題更為廣泛。除了傳統的軍事作戰議題，危機應處、關鍵基礎設施防護、資訊對抗等「非傳統戰爭軍事行動」亦成為電腦兵棋系統的應用領域。「人的因素」係此類新領域的要素之一，如何模擬「行為者的認知」以及具有「自主智慧」的行為，是電腦兵棋發展的新課題與挑戰。

本文作者林傳凱為國防大學管理學院運籌所碩士，備役空軍上校，現為財團法人國防安全研究院網路安全與決策推演研究所副研究員。主要研究領域為：作業研究、模式模擬、效益評估。

本文作者謝沛學為美國內布拉斯加大學林肯分校政治學博士，現為財團法人國防安全研究院網路安全與決策推演研究所副研究員，主要研究領域為：兵棋推演、模式模擬、軍備競賽、地緣政治、國防經濟。

# **The Main Development Trends of Computer Wargame Systems Applied in the Public Sector Taking Military Analysis and Disaster Prevention as Examples**

*Chuan-Kai, Lin and Pei-Shiue, Hsieh*

*Division of Cyber Security and Decision-Making Simulation*

## **Abstract**

With the advancement of software and hardware technology, computer wargames can simulate more diverse domains and issues. In addition to issues of traditional military operations, crisis response, critical infrastructure protection, information confrontation and other “non-traditional warfare military actions” have also become the application domains of computer wargame systems. “Human factors” are one of the elements of these new domains. Simulating the “cognition of actors” and behaviors with “autonomous intelligence” is a new topic and challenge for computer wargame development.

**Keywords:** Computer Wargames, Military Operations Other Than War, Critical Infrastructure Protection, Joint all-domain Operations

# 誰是印太最強之盾： 多型先進驅逐艦飛彈飽和接戰能力模擬分析

謝沛學

網路安全與決策推演研究所

## 壹、前言

不論從噸位、火力，還是從功能性來看，「飛彈驅逐艦」（Guided Missile Destroyer）已取代巡洋艦，成為除航空母艦外，最重要的水面戰鬥艦船。具體而言，驅逐艦可以打擊水面或水下目標，執行保護或攻擊海上生命線的任務；亦可以為戰區與其它水面艦隊提供區域防空保護。飛彈驅逐艦更可擔任「以海制陸」的角色，以艦載遠程巡弋飛彈對岸上重要的敵目標進行打擊，支援後續的兩棲登陸作戰。除了有能力發展航空母艦的國家外，在各主要國家的艦船建造計劃中，驅逐艦佔據著最重要的地位。飛彈驅逐艦的技術等級與數量亦成為評比各國海軍實力的一個重要指標，即使大力發展航空母艦的美、中兩強亦不例外。

因此，本文先以數學建立相關模型，分析與比較第一島鏈週邊幾個主要國家現有最先進的飛彈驅逐艦之防空飽和接戰能力，包含搭載「神盾戰鬥系統」（Aegis Combat System）的美國「阿利遜伯克級 III 型」（the *Arleigh Burke*-class Flight III）、日本「摩耶級」（the *Maya*-class）、南韓「世宗大王級」（The *Sejong the Great*-class），以及配備有類似戰鬥系統的中國「055 型」飛彈驅逐艦（Type 055 destroyers）。接著透過電腦兵棋模擬軟體「指揮：現代作戰」專業版（Command: Modern Operations Professional Edition，以下簡稱 CMO PE），設計數個想定場景，進一步檢視各型驅逐艦反制飛彈飽和攻擊的能量之數學分析結果。倘若數學模型解與電腦模擬的結果出現一定的差異，則進一步探討可能的因素，並依此對原

有的數學分析模型進行適度修調。本文試圖建立單艦飛彈防空飽和接戰能量的分析模型，可作為後續相關研究之基礎。

## 貳、防空飽和接戰能量分析建模

對於艦船（單艘）防空能力的量化模擬分析，可以從「防空飛彈命中率」、「射控系統接戰能量」與「防空飛彈系統最大攔截次數」這幾個要素去估算，可表為如下公式：<sup>1</sup>

$$N_{\text{防空飽和接戰}} = P_{\text{防空飛彈}} \times Tr_{\text{目標數}} \times I_{\text{次數}} \dots\dots\dots (1)$$

其中， $P_{\text{防空飛彈}}$ 係指艦船防空系統進行接戰後，「單發」防空飛彈命中來襲反艦飛彈之機率。由於防空飛彈攔截成功率的實際數據取得不易，一般在分析上，單發攔截率多採 60%至 75%左右不等計算。

$Tr_{\text{目標數}}$ 指的是艦船防空系統的「照明雷達」（Tracking and Illumination Radar）一次能追蹤並接戰的來襲飛彈數量。即使某艘艦船所搭載的防空飛彈數量多達 200 枚，不代表該艦船的防空系統有能力一次處理 200 枚的敵反艦飛彈。除了受限於防空飛彈的發射裝置，如「垂直發射系統」（Vertical Launching System, VLS）的發射單元數量，決定因素是照明雷達一次能鎖定並導引防空飛彈進行接戰的來襲威脅最大數量（Max Target Illumination）。

$I_{\text{次數}}$ 代表艦船防空雷達發現來襲反艦飛彈後，艦船防空系統在「接戰窗口」（ $\Delta_t$ ）內所能夠進行攔截（Interception）的次數，表為如下公示，其中 $t_{\text{循環}}$ 為防空飛彈每次「接戰循環所耗時間」，1 則代表第一枚發射接戰的防空飛彈：

---

<sup>1</sup> Daniel H. Wagner, W. Charles Mylander, and Thomas J. Sanders, *Naval Operations Analysis 3rd Edition* (Annapolis, MD: US Naval Institute, 1999); Capt. Wayne P. Hughes Jr., and RADM. Robert P. Girrier, *Fleet Tactics and Naval Operations 3rd Edition* (Annapolis, MD: US Naval Institute, 2018); 謝沛學，〈俄羅斯黑海艦隊防空能力評估〉，《國防安全雙週報》，第 54 期，111 年 5 月 20 日，<https://indsr.org.tw/respubcationmenus?uid=12&resid=1889>。