編輯報告

繼 2023、2024 年之後，國防安全研究院 War Room 團隊再度發表年度軍事模式模擬特刊。本期專刊結合團隊成員與院外專家，共收錄了六篇專文，深入探討人工智慧（AI）、大數據分析、無人機系統及創新模擬方法在現代國防與作戰中的應用，為應對當前複雜的軍事挑戰提供了客觀的分析與見解。

在 AI 與數據分析的應用層面：

〈你的專屬 AI 參謀〉一文，作者以開源大型語言模型（LLM）為基礎，成功打造一套可在本地端、離線運作的兵棋推演輔助系統。該研究顯示，結合「檢索增強生成（RAG）」與「提示詞工程」（Prompt）技術，能有效提升大語言模型在軍事想定分析與反制方案生成上的專業能力與可靠性。而本地端、離線使用的特點，亦可解決作戰想定、行動方案等機敏資料外洩的疑慮。這套系統後續將作為國防院 War Room 團隊，不論是電腦兵棋或桌上兵推的想定與行動方案生成輔助工具。

〈AI 人工智慧與現代戰爭〉一文則從俄烏戰爭的實戰經驗出發，分析了 AI 在情報融合、目標識別與兵棋推演中的革命性影響文章進一步比較了美、中兩國的 AI 國防戰略，並為臺灣提出了深化軍民科技融合、發展自主 AI 算力及強化國際合作的具體建議。

〈大數據分析在現代作戰中的應用〉則是全面概述了大數據技術在軍事情報、作戰指揮到後勤管理中的關鍵作用，強調了「數據即戰力」的核心概念，並建議我國應建立完善的資料治理與協作機制。

在創新作戰構想與模擬評估方面：

〈任務工程應用於灘岸殲敵之探討〉採用「任務工程」此一模

型導向的新方法，結合電腦兵推模擬臺北港的防衛作戰。研究結果不僅檢視了 M1A2T 戰車的作戰效益，也證明任務工程對於評估複雜戰場行動方案的優越性。

〈無人機反艦作戰運用構想模擬評估〉則利用兵棋系統，對無人機與反艦飛彈的協同戰術進行了量化評估。其重要發現是，採用誘餌無人機先行消耗敵方防空火力的「序列攻擊」，其作戰成功率顯著優於傳統的「飽和攻擊」，為不對稱作戰提供了創新的戰術思維。

最後，〈代理人模型在全社會防衛韌性之應用〉一文，運用「代理人基礎模型」此一獨特的研究方法，模擬了戰場救護體系的運作效能。模擬結果指出，在高風險作戰「熱區」，唯有受過專業訓練的「戰術戰傷救護（TCCC）」人員能有效發揮作用，此結論對於建構具備韌性的全民防衛醫療體系具有重要的政策參考價值。

你的專屬 AI 參謀：以「生成式人工智慧」打造本地端兵棋推演輔助系統

謝沛學

網路安全與決策推演研究所

壹、前言

美國公司 OpenAI 開發的 ChatGPT 橫空出世，其所展現對自然語言理解、生成與對話能力，於全球範圍內掀起了一場顛覆性的技術革命。在「生成式人工智慧」（Generative AI）蓬勃發展的背景下，基於轉換器的「生成式預訓練技術」（Generative Pre-trained Transformers）所開發的「大型語言模型」（Large Language Models, LLMs）及其相關應用迅速成為全球矚目的焦點。由於出色的內容理解能力，能夠實現有效的上下文感知、語義分析和知識推理，「大語言模型」具有協助想定分析以及「軍事行動方案」（Course of Actions, COA）生成與規劃，進而建構戰場決策輔助系統的潛能。然而，目前 LLMs 運用於想定及軍事行動方案生成，仍有幾個問題待解決。首先，受限於 LLMs 預訓練所使用資料的品質，使用 LLMs 回答某些特定專業領域的問題時，可能出現「答非所問」，甚至是編造錯誤的訊息，這個現象被稱為「產生幻覺」（Hallucination）。其次，部份 LLMs 雖然理解文本與生成回應的功能強大，但模型本身設有限制回答禁忌議題的安全模組，甚至是關鍵詞過濾器，這使得 LLMs 運用於軍事研究分析上有很大的受限。再者，必須連結網路在雲端架構使用的 LLMs 也不利於防範軍事研究特別是軍事行動方案等機敏訊息外流。

因此，本文以開源的 LLM 為基礎，建置能夠本地端、離線使用

的兵棋推演輔助系統，並透過「檢索增強生成」（Retrieval Augmented Generation, RAG）與「提示詞工程」（Prompt Engineering）技術，增強本地端 LLM 的功能。再以結合質化探討與量化模擬的方式，包括電腦兵棋模擬軟體「指揮：現代作戰」專業版（Command: Modern Operations Professional Edition，以下簡稱 CPE），檢視此兵棋推演輔助系統在想定分析以及軍事行動方案生成與規劃上的能力。

貳、本地端 LLM 部署實作

所謂「檢索增強生成」技術，類似於「開卷測驗」（open-book exams）允許受驗學生從攜帶的參考資料找尋答案解題的概念，係透過連結外部知識庫的方式，讓大語言基礎模型從專業文本擷取與提問相符的內容進行回應。[1]「提示詞工程」則是以設計過的指令語句，包括提供範例、限制回答範圍等，引導大語言模型更為精確地回應提問。[2]相較於「預訓練」（Pre-training）[3]與「微調」（Fine-tuning）[4]所需處理的龐大資料、參數量及消耗的巨額成本，透過

[1] Rick Merritt, "What Is Retrieval-Augmented Generation, aka RAG?" *NVIDIA*, January 31, 2025, https://blogs.nvidia.com/blog/what-is-retrieval-augmented-generation/.

[2] Pranab Sahoo, Ayush Kumar Singh, Sriparna Saha, Vinija Jain, Samrat Mondal and Aman Chadha, "A Systematic Survey of Prompt Engineering in Large Language Models: Techniques and Applications," *Arxiv*, March 16, 2025, arXiv:2402.07927v2.

[3] 以 2023 年發佈的 GPT-4 為例，外界普遍估計該模型包含 1.7 trillion 個參數，並花費 OpenAI 超過 7 千萬至 1 億美金的成本訓練初始模型。參見 Vitalii Shevchuk, "GPT-4 Parameters Explained: Everything You Need to Know," *Level Up Coding*, May 18, 2023, https://levelup.gitconnected.com/gpt-4-parameters-explained-everything-you-need-to-know-e210c20576ca; Emmanuel Ohiri & Richard Poole, "What is the Cost of Training Large Language Models?" *Cudo Compute*, May 12, 2025, https://www.cudocompute.com/blog/what-is-the-cost-of-training-large-language-models.

[4] 至於「微調」，儘管在處理的參數量與耗費成本上，明顯比從零開始「預訓練」一個全新模型來得少，但傳統的「全微調」方式，處理一次仍可能需花費數萬美金的開支，將模型調校至符合使用者需求，所耗費的資金仍非中小型單位，或個別研究者能負擔。近來興起的「低秩適應」（Low-Rank Adaptation, LoRA）微調技術，宣稱可以用僅數百到上千美元的預算完成大語言模型的調校，但這通常僅包含單次調校的預算，未考量其它隱藏成本，如資料的人工標記等。此外，這類宣稱可以用極低成本完成 LLM 微調的方式，通常支援相對小的模型、適用範圍有限，亦或需透過租用 GPU，將硬體成本轉嫁給雲端服務商的方式，即使能順利完成模型微調，也有機敏資料外洩的風險，不符合本研究宗旨。"What is the Cost of Fine-tuning LLMs?" *Dev Learning Daily*, July 2, 2025, https://learningdaily.dev/what-is-the-cost-of-fine-tuning-llms-f5801c00b06d.

「檢索增強生成」搭配「提示詞工程」的混合方式，使用者能夠在無需更動原有基礎模型參數的條件下，提升大語言模型在處理專業領域議題上的效能。[5]

圖 1-1、RAG 搭配 Prompt 的作業流程

資料來源：作者自行製圖。

圖 1-1 展示了「檢索增強生成」搭配「提示詞工程」的運作流程。這樣一個可用作電腦兵棋輔助系統的本地端 LLM，至少必須包含幾個要件。首先，我們需要一個預訓練過的大語言基礎模型，提供通用知識來源與使用者進行問答; 其次，必須有一套框架，將這個基礎模型從原先在開發者的雲端系統，轉移到個人使用者的電腦進行本地端、離線的運作。再者，如前所述，「檢索增強生成」技術之所以有效，其關鍵在於提供大量專業知識文本，以外掛的方式補充預訓練基礎模型所欠缺的資訊。因此，我們還需要能將大量知識文本分拆成易於判讀的更小片段，並賦予文本內的單詞、字句一組「數字向量」（Vector）的工具。這些文字向量在多維空間中的距離

[5] Matteo Fuoli, Weihang Huang, Jeannette Littlemore, Sarah Turner and Ellen Wilding, "Metaphor Identification Using Large Language Models: A Comparison of RAG, Prompt Engineering, and Fine-tuning," *Arxiv*, September 29, 2025, https://arxiv.org/abs/2509.24866.

位置，代表了文本內單詞、字句的意義和上下文關係。[6]透過把文字向量化處理，大語言模型才能「讀懂」或「判斷」以自然語言表達的外部知識文本。分拆與轉換成向量標記的文本，則會儲存在特定的「向量資料庫」（Vector Database），供大語言基礎模型後續檢索調用。當然，我們還需要一套工具架構，將前述「外部文本分拆」、「詞句向量轉化」、「資料庫存儲與調用」等工作流程串接起來，組成兵棋輔助系統最為核心的要件。

此外，只靠傳統的中央處理器（Central Processing Unit, CPU）無法滿足大語言模型對於運算能力的需求，我們必須在建置的系統導入特定的套件，使這個本地端 LLM 能夠優先調用「圖形處理器」（Graphics Processing Unit, GPU）進行運算。最後，為了避免必須在單調、純文字的「命令列介面」（Command Line Interface, CLI），以輸入程式碼的方式操作本地端 LLM。我們也導入「使用者介面」（User Interface, UI）套件，將建立好的兵棋輔助系統以網頁應用程式的外觀形式輸出，如同平時登入 OpenAI 的網頁使用 ChatGPT 一樣，讓使用者透過按鍵、選單、圖示等操作元素，以更為直觀的方式與兵棋輔助系統互動。圖 1-2 羅列本研究所採用的工具與套件清單，除了必須符合前述的各項預期功能之外，「開源」與「非中國系統」則是兩個最關鍵的選取標準。

[6] Naheed Rayhan, and Md. Ashrafuzzaman, "LLM Enhancer: Merged Approach Using Vector Embedding for Reducing Large Language Model Hallucinations with External Knowledge," *Arxiv*, April 29, 2025, https://www.arxiv.org/abs/2504.21132.

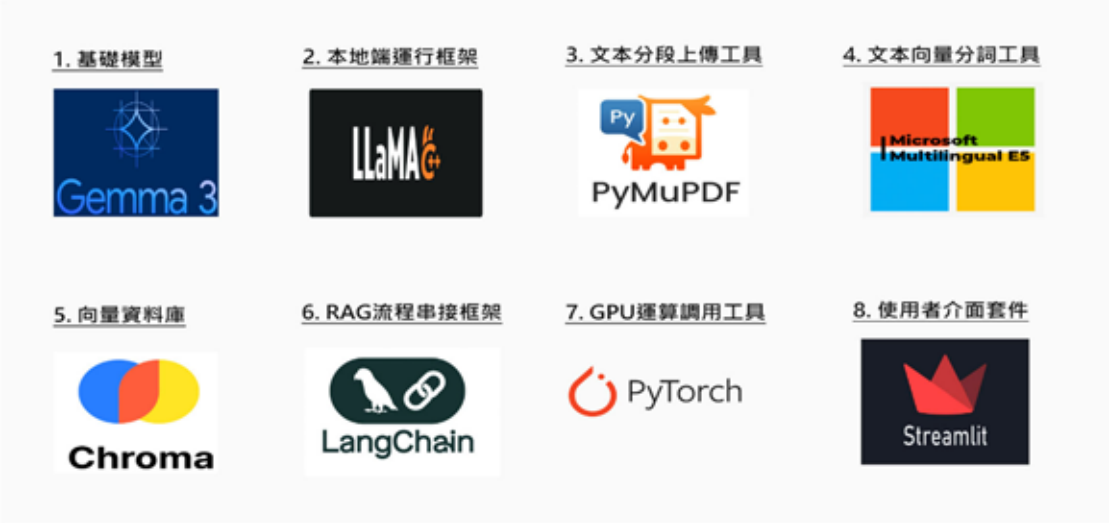


圖 1-2、本地端兵棋輔助系統使用套件

資料來源：作者自行製圖。

筆者在 Win 10 專業版、GPU: NVIDIA Geforce RTX 3060 6GB、CPU: Intel 12th Gen Core i7 12700H 以及 48GB 系統記憶體的硬體設備條件下，以 Python 程式語言為基礎，搭建供本地端兵棋推演輔助工具運作的系統，並透過 Anaconda 平台導入與管理所需的函式庫（library）與套件（packages），搭建供 Python 作業的虛擬環境。附圖 1-3 展示了筆者所建置的本地端兵棋輔助系統的部份程式碼畫面。

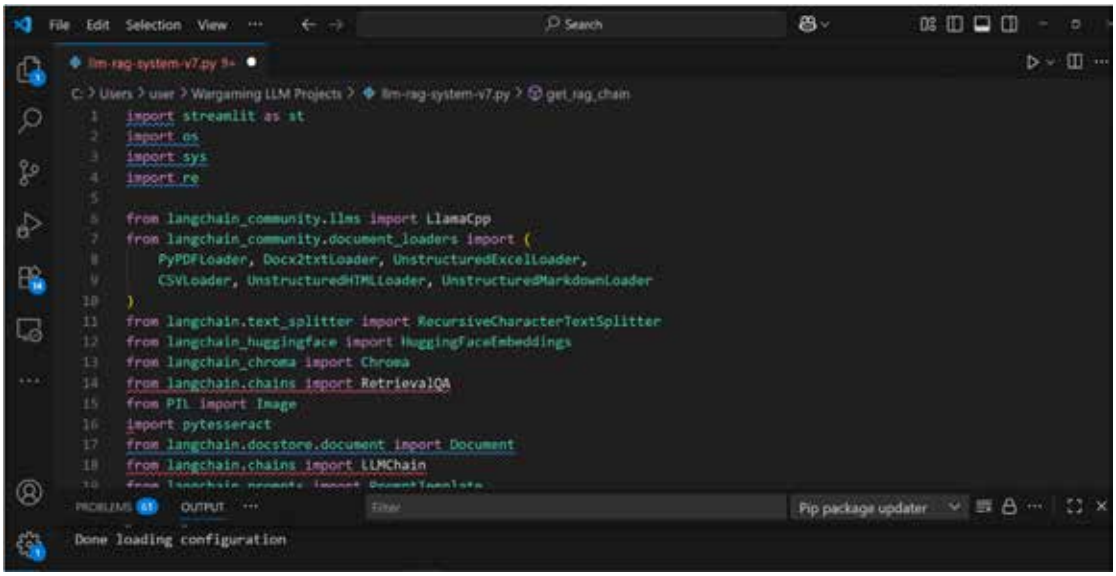


圖 1-3、本地端兵棋輔助系統部份代碼範例

資料來源：作者自行截圖。

圖 1-4 則是僅載入預訓練基礎模型 Google Gemma 3-12b-it-Q6-K-

L 的系統畫面，如果以此開始進行問答，則本地端兵棋輔助系統只會透過基礎模型的預訓練知識生成回應內容。如圖所示，系統的左側欄位分別有 Prompt 功能鍵與 RAG 功能鍵。根據筆者的規劃，使用者可以依需求決定是否啟用這兩個功能。這樣的功能設計允許我們分別測試「預訓練基礎模型」、「基礎模型+Prompt」以及「基礎模型+Prompt+RAG」這三種組合的能力。

圖 1-4、本地端兵棋輔助系統（僅預訓練基礎模型）

資料來源：作者自行截圖。

下方圖 1-5 則展示了兵棋輔助系統同時開啟 Prompt 與 RAG 功能的畫面。使用者可以透過 RAG，上傳預先統整過的軍事文本、研究報告等資料，並由 PyMuPDF 與 Microsoft-Multilingual-E5 等套件，將這些文本內容分割與向量化處理，儲存至向量資料庫，作為本地端 LLM 的外部知識來源，補強預訓練基礎模型在軍事專業領域知識的不足。當使用者提出問題，LLM 的檢索機制會將詢問的內容與向量資料庫的文本內容作比對，擷取出與詢問相符合的資訊，作為後續生成回應的基礎。

圖 1-5、本地端兵棋輔助系統（同時開啟 Prompt 與 RAG 功能）

資料來源：作者自行截圖。

筆者所收集的軍事領域專業文本資料分為三大類：首先是「官方報告」，例如美國國防部年度《中國軍力報告》、《中華民國國防報告書》等；其次是「智庫報告」，例如，美國蘭德智庫（RAND）、戰略暨國際研究中心（CSIS）、戰略和預算評估中心（CSBA）、日本防衛研究所（NDIS）等關於解放軍威脅及第一島鏈安全的研究報告; 另外，專業的「軍事研究期刊」也被納入本研究 RAG 外部資料庫，特別是中國的《指揮與控制學報》、《系統仿真學報》等，部份文章以電腦兵棋與模擬為工具，探討與第一島鏈場景相關的作戰概念。

由於這些報告書、研究文獻皆是由官方單位或權威智庫／單位所發表，在公開正式出版前也有專業的審查機制過濾，可以大幅減少「資料清理」(Data Cleaning）的工作。筆者共搜集 128 份軍事研究專業文本，作為本地端兵棋輔助系統在想定與行動方案生成的外部補充知識來源之用。

圖 1-6、本地端兵棋輔助系統「提示詞」模板部份畫面

資料來源：作者自行截圖。

至於「提示詞」（Prompt）的功能，如圖 1-6 所示，筆者以程式碼的方式設計為功能鍵，可以依使用需求開啟執行，而不是透過對話框輸入，以節省與 LLM 對話的上下文 Token 限制。例如，本研究所設計的「提示詞」模板之一，律定大語言模型的回應原則。當開啟「提示詞」功能後，使用者無需在每次提問重新要求， LLM 會自動依照模板所律定的原則進行回應。

一、 LLM 的專業助理角色

二、 分步驟思考與推理提問的問題

三、 說明分步驟思考與推論的理由

四、 比較不同方案的優劣，再總結答案

五、 如果沒有相關的資訊或知識，不得杜撰事實來當答案。

參、研究設計

由於本研究的目的在於建置一套可供本地端部署、離線使用的大語言模型，並搭配「提示詞工程」以及「檢索增強生成」的外部資料庫，補強預訓練基礎模型在回應專業軍事領域上的不足，作為電腦兵棋在想定與行動方案生成上的輔助系統。因此，我們將分別

測試，「預訓練基礎模型」、「基礎模型+Prompt」以及「基礎模型+Prompt+RAG」這三種組合在想定與行動方案生成上的能力。

此處我們選擇中國著名的軍事雜誌《艦船知識》，於2020年7月所發表的一篇〈祖國統一之戰的仿真推演〉專題文章，作為測試大語言模型的「考題」。這篇文章描繪了解放軍透過一連串海空火力壓制與打擊，在開戰24小時內摧毀台灣的海空作戰能力，並於D+2日開始登陸作戰，D+20 日左右順利攻佔北台灣。[7]姑且不論《艦船知識》的編輯與作者群策劃這期專題背後的認知作戰意圖，〈祖國統一之戰的仿真推演〉的內容包含了雙方兵力部署態勢、作戰排程與戰術行動方案等重要元素，再以電腦兵棋系統CMO進行模擬推演，確實提供了檢視大語言模型在想定生成輔助能力上的參考模板。[8]

《艦船知識》這篇文章的想定分為「火力打擊」、「強制隔離」、與「登陸作戰」這三大階段。前兩大階段屬於「海、空作戰」，其中，「火力打擊」階段的目的係為了摧毀守方的防空與反擊能力，奪取台灣周邊與上空的海、空優，為後續作戰行動開路，是整篇文章想定最關鍵的主軸，作者群透過電腦兵棋系統CMO進行了大量的模擬推演。「強制隔離」雖然也屬於「海、空作戰」階段，由於封鎖與隔離這類行動普遍缺乏「接戰行為」（Engagement），難以透過電腦兵棋系統模擬得出相關數據。《艦船知識》文章作者群主要以文字論述搭配部份CMO場景的方式，「演示」（demonstrate）封鎖隔離行動的進程。至於「登陸作戰」階段，由於CMO的優勢在於海空場景的模擬，對於地面作戰的呈現仍有不足，《艦船知識》文章對「登陸作戰」的推演，改以電子地圖加上軍事兵種符號（Military Symbology）的方式，產製「示意圖」搭配文字論述的方式，呈現雙

[7] 蘇磊、夕霧、趙四、克里斯、儲遇隆、安海督、亞山，〈祖國統一之戰的仿真推演〉，《艦船知識》，第7期，2020年6月，頁28-52。

[8] CMO 是 CPE 的商業版，僅供娛樂、教育使用，根據 Matrix Games 的使用者規範，不得將 CMO 用於軍事專業分析與公開發表。

方交戰進程。[9]

因此，本文在研究設計上參照《艦船知識》的文章，採用兼具質化探討與量化模擬分析的方式。首先，我們擷取「登陸作戰」階段的想定，要求大語言模型判斷解放軍可能的登陸地點，目的在於測試不同組合的大語言模型，對「作戰意圖判讀」上的能力差異。其次，由於《艦船知識》的文章省略了不少想定細節，我們擷取「封鎖與隔離」階段的部份想定，比較不同組合的大語言模型在場景細節生成能力上的差異。最後，我們擷取「火力打擊」階段的台灣北部場景，要求不同組合的大語言模型生成藍軍的反制行動方案，並透過電腦兵棋 CPE 進行蒙地卡羅模擬，檢視不同行動方案在反制紅軍攻擊上的效果。

關於「效益量測指標」(Measure of Effectiveness, MOE)，一般對大語言模型所進行的「基準測試」(Benchmarking)，通常包含「Time to First Token, TTFT」與「Inter-token Latency」這些與回應速度有關的指標。[10]由於本研究建置的本地端兵棋輔助系統係實驗性質的原型（prototype)，受限於現有 GPU 等硬體條件，要求大語言模型必須以「毫秒」的速度來回應提問仍有困難。因此，我們以「產出內容的品質」為原則，衡量不同組合的大語言模型的效能。針對前述的第一個測試，本文比較大語言模型所判斷的紅軍作戰計劃，與《艦船知識》文章作者群所設計的作戰方案之間的差異; 與原文的想定方案越接近者，表現越佳。第二個測試的 M.O.E，我們以「完整性」與「合理性」為標準，比較不同組合的大語言模型所補充的場景細節。第三個測試的 M.O.E，則是以「重要防護目標存活率」

[9] 儘管〈祖國統一之戰的仿真推演〉的作者聲稱，「登陸作戰階段」是以「The Operational Art of War, TOAW」這款電腦戰略遊戲進行推演，唯從該篇文章所呈現的推演畫面與 TAOW 操作介面及圖資明顯不符。

[10] Vinh Nguyen, Wenwen Gao, Emily Apsey, Ganesh Kudleppanavar, Neelay Shah and Elias Bermudez, "LLM Inference Benchmarking: Fundamental Concepts," *Nvidia*, April 2, 2025, https://developer.nvidia.com/blog/llm-benchmarking-fundamental-concepts/.

與「精準彈藥消耗量」，來探討不同組合的大語言模型所生成的藍軍反制行動方案之效益。

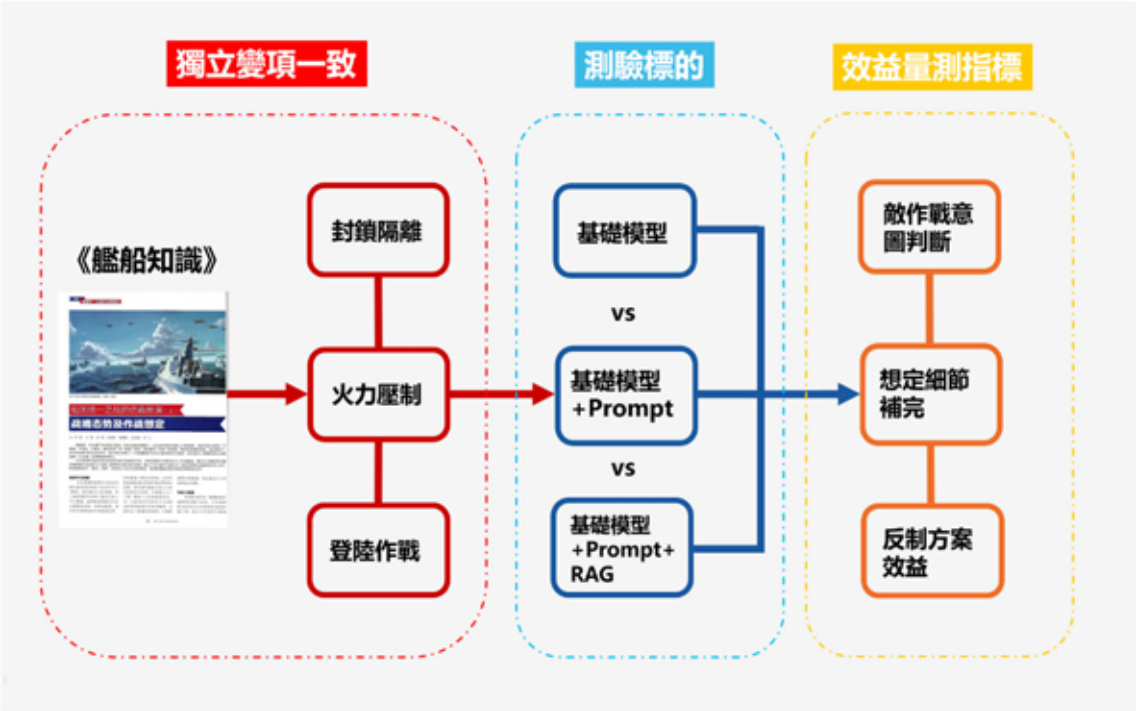


圖 1-7、本地端兵棋輔助系統「基準測試」設計流程

資料來源：作者自行製圖。

簡言之，如圖 1-7 所示，本文在控制「獨立變項」即想定場景一致的條件下，比較三組大語言模型在「敵作戰意圖判斷」、「想定細節補完」與「反制行動方案效益」能力上的差異。如果不對「想定場景」進行控制，則因為不同想定在敵威脅程度，以及紅藍雙方兵力部署等設定上的差異，將嚴重影響大語言模型的生成內容，所得出的模擬結果不具可比較性。

肆、個案探討

場景一：登陸作戰

我們此處擷取《艦船知識》文章對於 D+2 日後的想定場景，測試不同 LLM 工具組合對紅軍發動登陸作戰位置（北、中、南）的判斷，以及與《艦船知識》文章想定的方向吻合程度，探討三種 LLM

組合對於解放軍在「登陸作戰意圖判讀」上的能力差異。根據《艦船知識》文章的想定，紅軍有兩支登陸部隊，作者群設定台灣北部為登陸主戰場，由配署 3 個陸軍集團軍、2 個海軍陸戰旅、2 個空降旅及東部戰區相關單位的主力部隊負責進攻；另一支配署 2 個陸軍集團軍、2 個海軍陸戰旅及 2 個空降旅的預備隊，則承擔佯攻任務，伺機從澎湖與中、南部進犯，牽制其它藍軍部隊北上增援。

我們進一步提供《艦船知識》文章關於台灣三個作戰區的兵力部署，並要求 LLM 結合對台灣北、中、南區域地理條件的知識，以參謀的角色給予中央軍委登陸作戰方案的建議。測試結果發現，「僅有預訓練基礎模型」的 LLM，除了生成的內容相對簡化，缺乏系統性的比較，其所建議的行動方案是全力直攻北部，且沒有任何預備隊與佯攻牽制的規劃。此外，儘管「僅預訓練基礎模型」選擇北部進行登陸，似乎與《艦船知識》文章的想定相符，但其理由是南部有高聳的斷崖和複雜的地形，且南部兵力部署比北部密集，明顯產生所謂的幻覺。

圖 1-8、測試場景一「僅預訓練基礎模型」的回應截圖

資料來源：作者自行截圖自測試畫面。

當我們啟用 Prompt 功能，測試「基礎模型+Prompt」的組合，其所生成的內容明顯較有邏輯層次，會進行不同方案的優劣比較。儘管「基礎模型+Prompt」組合的建議方案為「登陸南部」，且沒有搭配佯攻行動，但其所提供的理由確有其合理之處：「兩棲登陸作戰初期即便成功，若無法確保後續重裝備與補給上岸，灘頭陣地也將迅速被敵方優勢火力摧毀。奪取高雄港建立可持續的後勤保障為前提，穩中求進，逐步瓦解敵方防禦的務實選擇……雖然耗時可能較長，但在面對台灣的「刺蝟」防禦戰略時，生存能力和最終的成功率可能最高」。

圖 1-9、測試場景一「預訓練基礎模型+Prompt」組合的回應截圖

資料來源：作者自行截圖自測試畫面。

當我們進一步啟動 RAG 功能，測試「基礎模型+Prompt+RAG」的組合，此時 LLM 所提供的行動方案與《艦船知識》文章的想定基本吻合。能夠「速戰速決」是其最主要的決策理由，雖然北部防禦嚴密，但 LLM 判斷仍可透過集中優勢兵力重點突破，再搭配預備隊於中部的佯攻，從而減輕北部主攻方向的壓力。「此舉亦可為後續作戰提供靈活性，若北部進展順利，中部部隊可轉為鞏固佔領區；若

北部受挫，中部則可視情況轉為主攻，或作為撤退的備用方案」。至於南部地區，雖然地形較為利於機械化部隊開展，但 LLM 認為「航渡距離最遠，被半途打擊的風險最大，且登陸後還必須一路北上，才能攻佔政經中樞」，因此沒有選擇從南部派遣登陸部隊的方案。

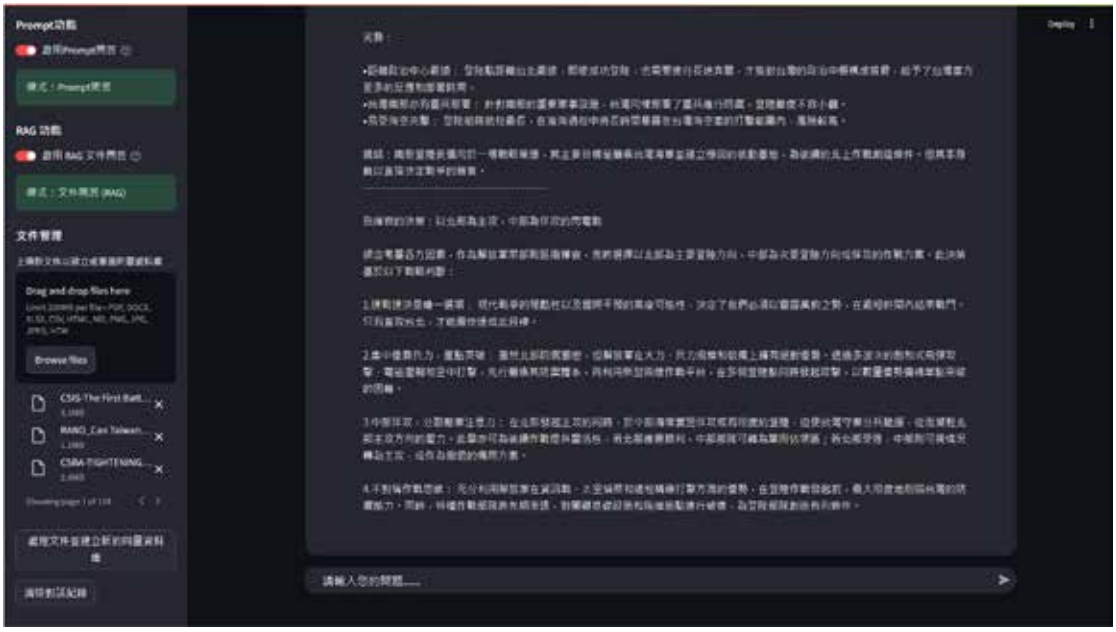


圖 1-10、測試場景一「預訓練基礎模型+Prompt+RAG」組合回應截圖

資料來源：作者自行截圖自測試畫面。

場景二：封鎖作戰

我們此處擷取《艦船知識》文章對於紅軍完成飽和火力打擊，取得海、空優之後，開始對藍軍進行封鎖隔離的想定場景。根據《艦船知識》文章，此時紅軍於台灣海峽南、北兩端各部署一支水面艦隊編隊。北部由遼寧號航艦為首，包含 055 型驅逐艦、052 型驅逐艦與 054A 型護衛艦等共 16 艘所組成的編隊；南部則是由山東號航艦領銜，包含 052 型驅逐艦與 054A 型護衛艦等共 16 艘所組成的編隊。兩支水面艦隊編隊已經穿過南北水道，進入台灣東部海域展開封鎖行動，阻絕任何可能對藍軍的援助。《艦船知識》文章的想定亦強調，必須在奪取海空優之後，解放軍航艦戰鬥群才會進入台灣

東部海域，並以「情監偵」、「電磁攻擊」、「飽和火力打擊」、「水下攻防」等手段為航艦戰鬥群創造機會。

我們先給予 LLM 關於紅軍兩支水面艦隊編隊的兵力配置，並依序要求不同組合的 LLM 進行作戰規劃，以遂行將兩支海軍艦隊，從南北兩端駛入台灣東部海域展開封鎖，阻絕其它國家對藍軍援助的戰略目標。這個場景設計的目的在於，測試三種不同組合的 LLM，對兩支艦隊完成航行至台灣東部海域部署、開始進行封鎖之前的想定細節的補充與生成能力。

測試結果發現，「僅有預訓練基礎模型」的兵棋輔助系統，在利用無人機、衛星和水面艦艇進行全面情報收集，以及發動大規模的電子戰行動，干擾台灣的通訊和雷達系統後，即下令兩個航艦打擊群強行進入台灣東部海域展開警戒、偵查，與構築海上封鎖線。與《艦船知識》文章的想定相比，「僅有預訓練基礎模型」的組合缺少了「飽和火力打擊」與「水下攻防」這兩個作戰行動準備。不僅在想定細節補足與內容生上有過度簡化之虞，在沒有取得海空優勢便大規模出動艦隊的方案也不甚合理。

圖 1-11、測試場景二「僅預訓練基礎模型」的回應截圖

資料來源：作者自行截圖自測試畫面。

當我們再次啟用 Prompt 功能後，測試「基礎模型+Prompt」的組合，其所提出的作戰準備規劃包括了部署大量高空長航時無人機和中低空無人機進行持續偵察，填補衛星監控的盲區，並利用電子戰飛機和艦載設備，持續干擾台灣的雷達、通訊和導航系統等。「基礎模型+Prompt」組合的兵棋輔助系統亦提出對藍軍地面重要設施進行火力打擊，唯目標僅針對台灣東岸的重要設施如佳山、志航機場等。與《艦船知識》文章的想定相比，「基礎模型+Prompt」組合所生成補充的場景細節差異不大，基本上滿足了「情監偵」、「電磁攻擊」、「飽和火力打擊」、「水下攻防」這四個作戰準備要素，只是「火力打擊」手段不夠全面。

圖 1-12、測試場景二「預訓練基礎模型+Prompt」組合的回應截圖

資料來源：作者自行截圖自測試畫面。

當我們進一步啟動 RAG 功能，測試「基礎模型+Prompt+RAG」的組合，LLM 所生成的行動方案，不僅滿足《艦船知識》文章的 4 個想定要素，還補充了額外的細節。「基礎模型+Prompt+RAG」組合的輔助系統判斷，要成功進行台灣東部海域海上封鎖，不能僅依靠兩個航母打擊群的力量，而是需要「一個協同且綜合性的作戰體

系，結合情報、電子戰、地面攻擊、網路空間作戰和後勤保障等多個領域的行動，才能有效實現目標。此外，還必須預先應對國際社會的反應及潛在干預者的可能行動，並做好相應的準備」。與《艦船知識》文章的想定相比，除了同樣強調必須以多重作戰準備手段，奪取海空優後才能出動艦隊至東部海域，更建議攻佔東沙島作為山東號戰鬥群的中繼補給點（後勤考量），以及先發制人打擊美、日基地，癱瘓周邊美軍快速介入的能力（預應國際干預）。

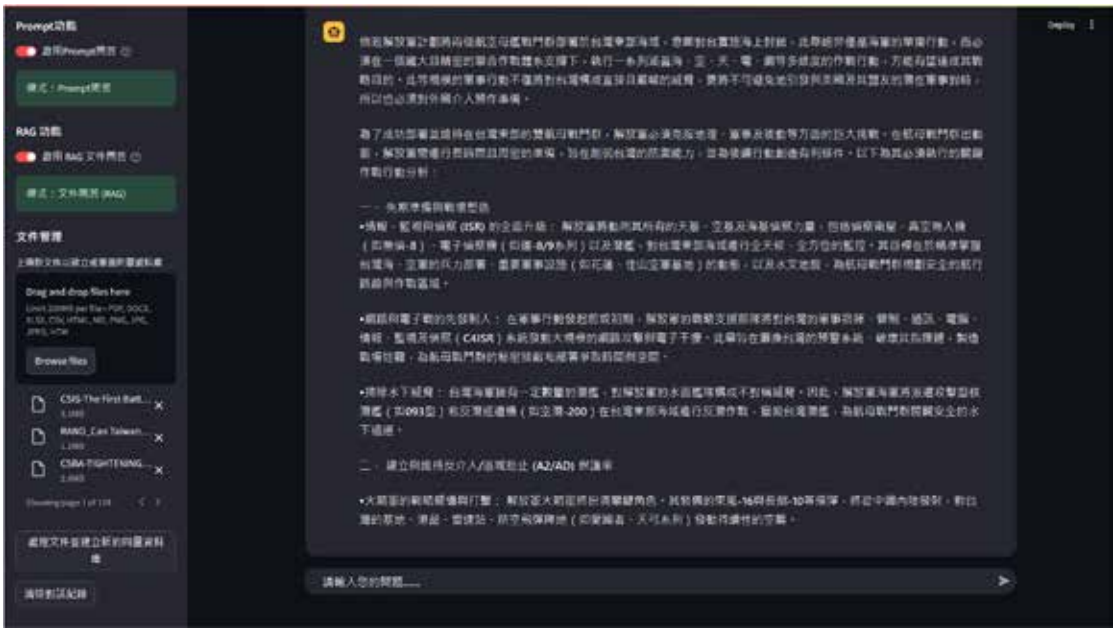


圖 1-13、測試場景二「預訓練基礎模型+Prompt+RAG」組合的回應截圖

資料來源：作者自行截圖自測試畫面。

場景三：飽和火力打擊

此處以《艦船知識》文章關於紅軍以飛彈飽和攻擊，壓制藍軍防空與作戰能力的想定為基礎，設計一個規模較小、場景限縮在台灣北部的想定，以利後續的模擬測試。我們給予藍軍 35 個重要防護目標，以及 4 種防空系統（愛國者、天弓、新型野戰、復仇者），共 520 枚精準彈藥。紅軍則是有 4 個東風 16 發射旅、216 枚彈道飛彈，以及 3 個長劍 10 發射旅、324 枚巡弋飛彈，總共 540 枚飛彈。場景

設定紅軍分 3 個波次，對藍軍重要防護目標進行打擊。這個場景設計的目的在於，結合電腦兵棋 CPE 測試三種不同組合的 LLM 所生成的藍軍防空反制方案的作戰效益。由於「效益量測指標」包含了「設施存活率」與「精準彈藥存量」，在測試的過程，我們以 Prompt 的形式，給予 LLM 不同反制選項進行方案組合。這些選項包括了防空陣地是否開機、接戰威脅種類（彈道 vs.巡弋）、接戰原則（SSL vs. SLS）、主射向線角度等。不同的選項組合對於「設施存活率」與「精準彈藥存量」將有不同的影響。例如，選擇防空陣地全開機，必然有利於重要設施的存活，但精準彈藥可能因此消耗的更快; 不論來襲威脅種類（超音速或次音速），一律採取「連波射擊原則」（Shoot-Shoot-Look, SSL），有助於提升威脅攔截率與重要設施的存活，但勢必不利於精準彈藥存量。

圖 1-14、測試場景三「本地端兵棋輔助系統」回應截圖

資料來源：作者自行截圖自測試畫面。

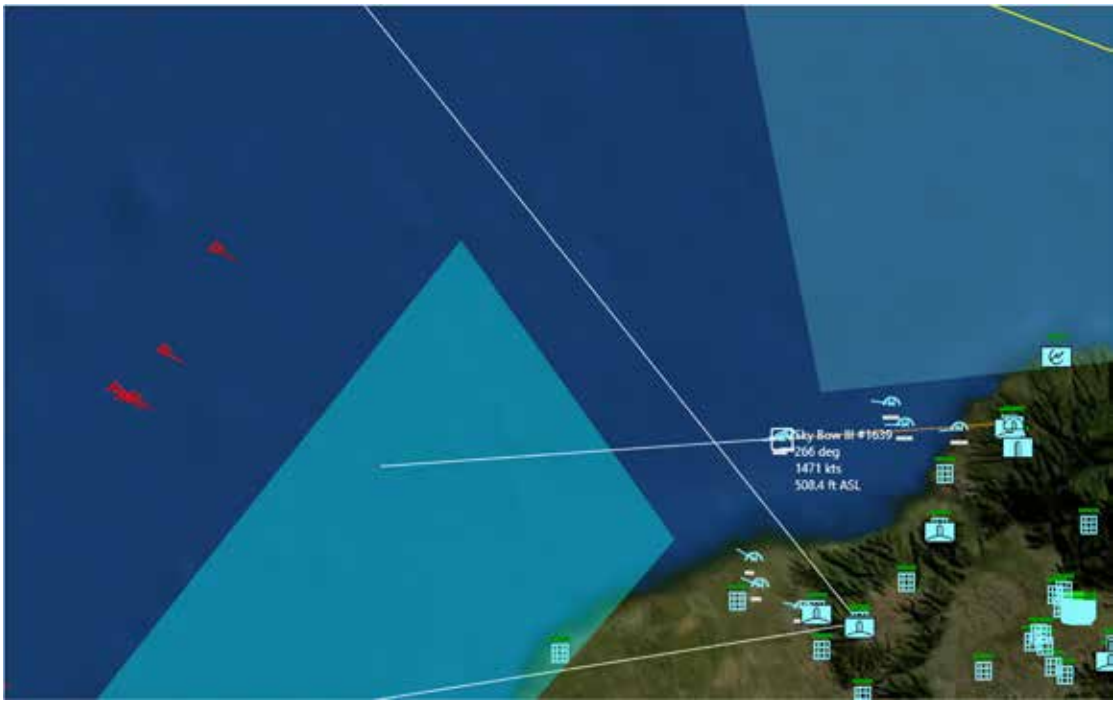


圖 1-15、測試場景三藍軍防空作戰-1

資料來源：作者自行截圖自模擬畫面。

圖 1-16、測試場景三藍軍防空作戰-2

資料來源：作者自行截圖自模擬畫面。

測試結果顯示，由於少了不同方案選項的提示詞，亦缺乏外部專業軍事文本資料庫的參照，「僅預訓練基礎模型」的系統採取了最

呆板、單調的方案，給出了「火力全開、戰力發揚」的建議。儘管藍軍的重要防護設施在第一波攻擊的生存率最好，隨著精準彈藥存量在第二波次攻擊時耗盡，藍軍的重要設施存活率大幅下降。當我們啟動 Prompt 功能，由於在提示詞設定有不同方案組合可以嘗試，「預訓練基礎模型+Prompt」的輔助系統似乎把「以不同反制選項進行組合生成新方案」視為準則，採取的方案明顯偏向「戰力保存」，透過部份防空系統不開機、「多次單發射擊原則」（Shoot-Look-Shoot, SLS）等組合，將精準彈藥存量延續至三個波次攻擊完畢，但付出的代價是重要防護設施的存活率。最後，當我們進一步開啟 RAG 功能，這個組合的 LLM 採取了「戰力發揚為主、戰力保存為輔」的策略。而由於有軍事專業文本當外部資料庫，「預訓練基礎模型+Prompt+RAG」的輔助系統，在反制方案的選擇更為靈活，例如，指派部份「復仇者」防空飛彈系統加強保護如愛國者與天弓防空系統，而非平均分配給其它的重要防護如港口、雷達等。這樣的選擇組合提升了藍軍中遠程防空飛彈系統的存活，延長了愛國者與天弓系統的接戰能量。

伍、結語

本研究結合 Prompt 與 RAG 技術，建置一套兵棋推演輔助系統。經測試，該方案確實能提升預訓練基礎模型在回應軍事專業議題的能力。而本地端、離線使用的特點，亦可解決作戰想定、行動方案等機敏資料外洩的疑慮。筆者未來除了硬體升級與程式碼調校，也將透過擴大軍事專業文本資料庫，以及自建軍事領域的中文分詞資料庫的方式，提升這套輔助系統的效能，後續可作為本院 War Room 團隊，不論是電腦兵棋或桌上兵推的想定與行動方案生成輔助工具。

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，任職於國防安全研究院，現職為網安與決策推演所副研究員，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。

AI Staff Officer: A Generative AI-Based Local Wargaming Assistance System

Dr. Pei-Shiue Hsieh

Division of Cyber Security and Decision-Making Simulation

Abstract

This study aims to address the challenges of applying Large Language Models in the military domain, including issues such as hallucination, content restrictions, and the risk of sensitive data leakage. To this end, the author has developed a wargaming assistance system based on an open-source LLM, capable of operating locally and offline. This system integrates Retrieval-Augmented Generation and Prompt Engineering techniques to enhance the LLM's performance on specialized topics without modifying the base model's parameters. Using a Taiwan invasion scenario from the Chinese military magazine *Naval and Merchant Ships* as a test case, this paper compares the capabilities of three configurations: the base model alone, the base model with Prompt Engineering, and the base model with both Prompt Engineering and RAG. The comparison assesses performance in areas such as interpreting operational intent, supplementing scenario details, and the effectiveness of counter-plans, utilizing computer wargaming software for quantitative simulation and analysis. The results indicate that the LLM configuration integrating both Prompt Engineering and RAG achieved the best performance. This system will serve as an auxiliary tool for the War Room team at the Institute for National Defense and Security Research for wargaming tasks, with its performance to be continually enhanced through database expansion and code optimization.

Keywords: LLM、Locally-deployed、RAG、Prompt、Scenario Generation

無人機反艦作戰整合運用構想初探

林傳凱

網路安全與決策推演研究所

蔡承翰

網路安全與決策推演研究所

壹、前言

近年來無人機（UAV）技術快速發展，並在多起區域性衝突的應用中，展現出色的實戰效能，使得無人機成為現代戰爭中不可或缺的力量。由於無人機可執行戰場偵察、精準打擊與心理作戰等多樣化任務，不僅改變了傳統的作戰模式，也形塑出當代戰爭的全新面貌。同時，無人機因具備降低人員風險、提升作戰效能與部署彈性的特性，已成為近年軍事研究及技術發展的重要對象，並引起相關國內外文獻與政策文件的廣泛關注。此一發展趨勢，也帶動從技術創新至作戰構想的快速迭代，益加凸顯出無人機在現代戰爭中的重要地位。

無人機起初被視為不對稱作戰的利器，然而隨其在各型戰場上廣泛應用，其角色將逐漸轉向成為傳統作戰體系中不可或缺的重要戰力。特別是在現代戰場中，無人機頻頻展現出高度適應性與打擊效能，此一趨勢將促使各國重視發展針對無人機之反制能力，以探討其對防禦體系與戰術之影響。在此背景下，無人機部隊必須結合新興科技的發展，持續推動運用構想創新與戰術戰法發展，以肆應戰場環境快速變化所帶來的挑戰，維持其戰場優勢與效能。

貳、無人機在臺海防衛作戰的應用

不對稱作戰的策略是攻擊對手未充分準備或未能察覺的脆弱環

節，[1]以收「避實擊虛」與「出奇制勝」之戰果。其核心並非單純仰賴特定的武器系統，而是繫於「戰場上如何運用的作戰概念」。[2]儘管無人機具備可大量部署、成本低廉、運用彈性高等特性，其作戰潛力仍須與現有主戰裝備結合形成協同作戰體系，方能發揮最大效益。也唯有與主戰裝備整合運用，並發展具「出奇不意」與「分層壓制」特性的作戰構想與創新戰法，始可展現無人機在不對稱作戰中的價值與效能。

朱文泉在其《島嶼戰爭論》中指出：「制島，則制海；制海，則制天下」，[3]揭示了島嶼在地緣戰略與海權爭奪中的核心地位。島嶼因受海洋包圍與阻隔，欲奪占島嶼，就必須透過軍隊橫渡大片水域，並在防禦方的領土上登陸的「兩棲攻擊」方式來進行。[4]因此，中共解放軍奪臺的軍事行動，將無可避免地必須發船航渡臺灣海峽，運輸大量的部隊突擊登陸並擊敗國軍，其奪佔臺灣的作戰目標才有可能達成。

我國作為四面環海的島嶼型國家，擁有海峽天塹的天然屏障優勢，有利於防衛作戰體系之設計與建構。面對中共日益嚴峻的軍事威脅，依據現行軍事戰略構想，國軍在戰力配置與部署上採取多層次防衛原則，並考量地理與戰略條件，以提高對敵海上突進行動的拒止能力。進一步而言，有效的拒止戰略必須使侵略者無法成功佔領並固守關鍵領土，[5]其核心概念即是在敵人潛在的侵略路徑上，部

---

[1] Bruce W. Bennett, Christopher P. Twomey, and Gregory F. Treverton, “What Are Asymmetric Strategies?” *RAND*, 1999, p. 3. https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/documented_briefings/2005/DB246.pdf.（檢索日期：2025 年 7 月 5 日）

[2] Ashley J. Tellis, Janice Bially, Christopher Layne, Melissa McPherson, *Measuring national power in the postindustrial age*(CA：RAND, 2000), p. 157.

[3] 朱文泉，《島嶼戰爭論（上卷）》（北京：軍事科學出版社，2014 年 10 月），頁 26。

[4] Mearsheimer, J.J, *The Tragedy of Great Power Politics* (New York：W.W. Norton & Company, 2001), p. 32, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://samuelbhfaure.com/wp-content/uploads/2015/10/s2-mearsheimer-2001.pdf.（檢索日期：2025 年 7 月 6 日）

[5] Elbridge A. Colby 著，李永悌譯，《拒止戰略》（The Strategy of Denial） (臺北：國防部政務辦公室，2022 年)，頁 242-261

署足以展現明確防衛意志的重要軍事力量，[6]進而形成實質防禦效能與心理嚇阻雙重效果。而在臺海防衛作戰的實踐上，可展現在攔截並摧毀敵方的兩棲登陸運輸載具，削弱其渡海運輸能量、癱瘓或干擾敵軍的決策與指揮體系，以降低敵軍成功奪取臺灣的可能性，[7]從而實現拒止戰略的目標。在此戰略架構下，無人機因具有成本低廉、數量龐大、部署靈活與作戰風險較低之特性，可協同主戰兵力進行防衛作戰，提升我防衛作戰的成功公算。

面對敵軍奪臺的兩棲攻擊行動，「航渡階段」將是其船艦最為脆弱的時期，也是我方憑藉臺灣海峽天險與國軍整體戰力，進行拒止作戰的關鍵階段。尤其國軍長期以來在建軍備戰上，已針對海上打擊建立多層次的戰力整建與部署。此一時期，充分運用無人機等相關自主、無人系統的特性與優勢，可複雜化敵軍事行動計畫，並提高其航渡與接敵時的風險，進一步提升我防衛作戰的效能。特別是美國前陸軍副參謀長基恩將軍指出，拒止中共入侵無需追求全面擊敗敵軍，而是要設法對敵造成 15%至 20%的關鍵戰損。而部署潛航器和海上自主飛行器等無人系統，可實現關鍵 15%至 20%戰損的影響力。[8]亦即無人機的運用，係爭取關鍵的影響力，並成為主戰兵力的戰力延伸與倍增器，以提升拒止戰略的效能。

參、研究目的與方法

本研究主要針對可作為誘餌的誘標式無人機，以及執行自殺任務的攻擊型無人機（遊蕩彈藥）之應用，探討其在於反艦作戰中如何擔任助攻的角色並發揮效能。其中，攻擊型無人機突防能力雖不

---

[6] Paul Huth, & Bruce Russett, "Deterrence Failure and Crisis Escalation," *International Studies Quarterly*, Vol. 32, No. 1, March 1988, p. 42.

[7] Jacob L. Heim, Zachary burdette, & Nathean Beauchamp-mustafaga, "U.S. Military Theories of Victory for A War with the People's Republic of China," February 21, 2024, p.14, https://www.rand.org/pubs/perspectives/PEA1743-1.html.（檢索日期：2025 年 7 月 6 日）

[8] 劉恩民，〈臺灣該購買航母還是無人機?美退役上將這樣回答〉，《yahoo 新聞》，2025 年 2 月 13 日，https://www.voacantonese.com/a/7973387.html.（檢索日期：2025 年 7 月 6 日）

及傳統的反艦飛彈，但具備成本低廉、可盤旋偵察並選擇最佳攻擊時機的優勢，適用於突襲防空較弱的小型水面艦艇或作為誘餌吸引防空火力，掩護主攻反艦飛彈。[9]此外，具備反輻射能力的無人機可精準攻擊敵艦雷達，癱瘓其偵測與引導能力，進而提高整體突防與打擊效能，具有發展多層次、分散式協同作戰戰術的價值。

另就現代電腦兵棋系統依功能取向而言，可區分為「推演型」與「分析型」兩大類型。[10]其中，分析型兵棋系統廣泛應用於作戰構想研究、作戰準則發展、戰術戰法設計、作戰方案比較與作戰能力評估等面向，[11]特別適用於定量評估作戰構想與模擬不同作戰方案之效能差異。鑑於本研究聚焦於無人機整合運用構想之驗證與效能分析，因此採用「指揮：現代作戰」（Command: Modern Operations, CMO）作為模擬工具。CMO 電腦兵棋系統具備模擬陸、海、空、水下及電子戰多領域聯合作戰的功能，為國際多國軍事及研究機構等單位廣泛使用，[12]具備高仿真度模擬評估與決策輔助之功能。本研究之模擬程序涵蓋作戰想定發展、場景建模與模擬、數據資料統計分析等步驟，以利評估無人機與反艦飛彈整合運用構想之可行性與效益。

肆、想定發展與作戰場景

一、作戰模擬雙方交戰兵力

（一）紅軍：導彈驅逐艦 1 艘。防空火力裝備遠程防空飛彈 48 枚、近程防空飛彈 24 枚、130 公厘艦砲及 30 公厘近迫武器。

（二）藍軍：A 型無人機、B 型無人機、岸置反艦飛彈系統(Coastal

[9] 紀永添，〈下一波海權革命──無人機制海時代來臨〉，《上報》，2023 年 3 月 14 日，https://today.line.me/tw/v2/article/5yrzG7v。 (檢索日期：2025 年 7 月 6 日)

[10] 國防部，《國軍軍語辭典》（臺北：國防部，2004 年），頁 7-24、25。

[11] 胡斌、彭偉、陳希亮。《作戰模擬基礎(第 2 版)》，（北京 國防工業出版社，2019 年），頁 229-230。

[12] Matrix Games, “Command Professional Extensions,” https://command.matrixgames.com/?page_id=3822.（檢索日期 2025 年 7 月 7 日）

Defense Cruise Missile, CDCM)。

二、想定作戰場景

本研究模擬情境設定紅軍部署一艘導彈驅逐艦，巡弋於距臺灣本島北北西方海域約 46 海浬處。該艦配備具備遠中近程防空、反艦、對陸打擊及反潛作戰能力，可有效壓制我方海空行動自由，並具備對北部沿岸機場、指揮節點、雷達陣地等戰略目標實施打擊之能力。同時，其亦具備電子偵蒐與航道監視功能，可於戰前掌握臺灣北部軍用機場、基地與交通運輸航道之情資。此一部署實質上形同將紅軍攻擊與防空節點前推，對我國已構成顯著的威脅。為回應此一態勢並預先建立遏阻效果，本研究假定藍軍採取最壞情境預判，規劃以無人機與反艦飛彈協同反制，以遏止紅軍兵力向我領海逼近，確保西北海域之行動自由與海上交通安全（如圖 2-1 想定場景）。

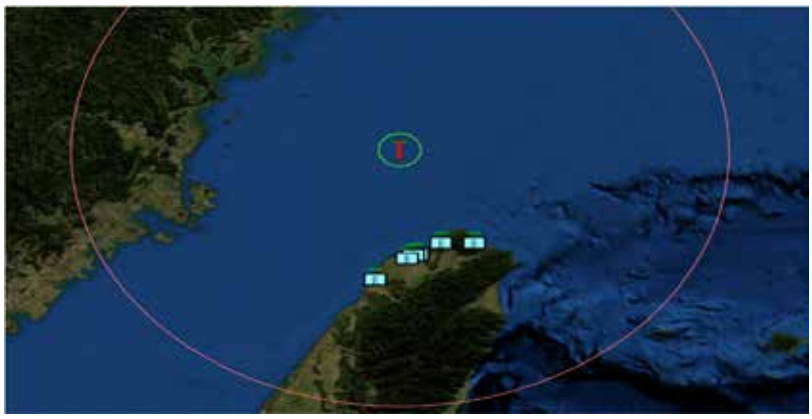


圖 2-1、想定場景圖

資料來源：擷取自本研究於 CMO 兵棋系統建構之想定場景。

三、參數設定

本研究模擬實驗所需紅、藍軍攻防雙方之武器系統參數，均使用 CMO 系統參數資料庫內建武器系統及參數預設值（Default）進行模擬，不另行調變。旨在評估無人機不同運用構想的效能，並利於後續相關研究的重現。

四、假定條件與限制因素

本研究假定區域情勢高度緊張，紅軍持續於爭議海域實施軍事部署與高強度封鎖巡弋，威脅臺灣海上交通線安全。藍軍則為確保行動自由與防衛前沿，部署無人機監視力量與預置反艦飛彈火力，並依情勢發展，於特定時間窗採取有限打擊行動。相關假定條件與限制因素如下：

（一）作戰場景假設：藍軍整合運用無人機與反艦飛彈，協同攻擊一艘無空中掩護之敵軍驅逐艦。

（二）無人機性能假定：藍軍 A 型與 B 型無人機具備自主控制、群攻協同與抗干擾能力；其中 A 型無人機擔任佯攻以吸引敵火為目的；B 型無人機則執行打擊任務。

（三）藍軍兵力編成：A 型無人機 n 架、B 型無人機 m 架，以及反艦飛彈 4 枚。

（四）紅軍防空系統反應：紅軍艦艇防空系統均將藍軍各型無人機及反艦飛彈視為威脅，並於其各式防空系統接戰範圍內實施攔截。而其接戰規則（ROE），對無人機採「Shoot-Look-Shoot」策略；對反艦飛彈則採「Shoot- Shoot -Look」策略。

（五）系統妥善率：紅、藍雙方武器系統妥善率設定為全妥善(100%)。

（六）飽和攻擊設定：以紅軍短程防空飛彈的最大接戰距離，設定為藍軍三種武器系統同時抵達（TOT）之攻擊區域。[13]期藉由飽和攻擊的方式，迫使紅軍船艦防空系統顯露出接戰能力的罅隙，以提高藍軍武器突穿的機會。

（七）模擬範圍：本研究僅進行紅、藍軍雙方攻、防的「硬殺」模

[13] Time on Target（TOT）, The actual time at which munitions impact the target.是一種火力協調技術，指多個火力單位（例如火砲、飛彈或空中武器）調整發射時間，使其武器彈著點能同時或幾乎同時到達目標區。此概念常用於壓制敵方防禦反應、增加突襲效果，特別是在壓制敵方雷達、防空系統或關鍵指揮節點時效果顯著。見 JP 1-02, *DoD Dictionary of Military and Associated Terms, 2016*, p. 243.

擬，不考量電子戰等「軟殺」效應影響。

伍、模擬實驗設計

一、實驗目標：

本研究模擬實驗之目標為『評估不同數量配置的 A 型與 B 型無人機，搭配固定四枚次音速反艦飛彈，在「序列攻擊」與「飽和攻擊」兩種運用構想方案下，對紅軍一艘導彈驅逐艦的打擊效能』。

二、實驗方案：

模擬實驗設計為一項三因子、二水準、共八組方案組合的研究（如表 1），各方案均執行蒙地卡羅模擬 50 回合後，再進行統計分析與檢定。三個自變項因子分別為「A 型無人機」、「B 型無人機」與「運用構想」，其中協同主戰兵力反艦飛彈數量設定為固定值。

表 2-1、模式模擬方案組合

模擬方案	運用構想	A 無人機數量	B 無人機數量	反艦飛彈數量
1	序列攻擊	n	n	4 枚
2		n	m	
3		m	n	
4		m	m	
5	飽和攻擊	n	n	
6		n	m	
7		m	n	
8		m	m	

註：n 與 m 的數量比例為 3：4，且 n 與 m 均為偶數。

資料來源：本研究設計繪製。

A 型無人機與 B 型無人機的數量各設為兩種水準（n 與 m）；而運用構想則包含兩種型態，分別為「序列攻擊」與「飽和攻擊」。「序列攻擊」構想指依序投射 A 型無人機、B 型無人機與反艦飛

彈。由 A 型無人機吸引並消耗敵艦防空火力，B 型無人機執行對紅軍船艦重要系統精準打擊，反艦飛彈則專責攻擊船艦，以期達成分層壓制與突防打擊的效果。而「飽和攻擊」構想則整合運用 A 型無人機、B 型無人機與反艦飛彈，使三者可同時抵達攻擊區域實施同步打擊。由於各武器系統具備不同的飛行速度，必須根據其航速特性規劃投射時序，確保在目標區域形成最大化的火力飽和效果，以提高突防與打擊成功率。相關自變數及應變數關係如圖 2-2：

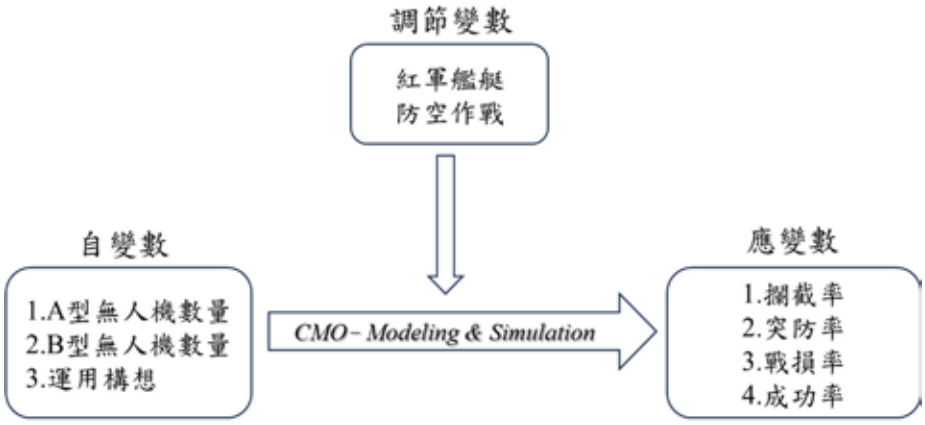


圖 2-2、作戰模擬實驗自變數與應變數關係圖

資料來源：本文自行繪製。

三、效能量測指標：

本研究為評估無人機/反艦飛彈對船艦防空系統的打擊效果及整體作戰表現，擬訂以下四項效能量測指標（Measures of Effectiveness, MOEs），各指標之操作型定義與計算公式如下：

（一）紅軍船艦防空攔截率：衡量紅軍艦載防空系統在防空作戰模擬場景下，對來襲武器（如反艦飛彈或無人機）的攔截效能。定義為在模擬回合中成功攔截的來襲武器數量占總來襲武器數量的比例。公式如下：

$$\text{攔截率} = \frac{\text{成功攔截來襲的武器數量}}{\text{總來襲武器數量}}$$

（二）藍軍反艦飛彈突防率：衡量藍軍反艦飛彈突破紅軍船艦防空

系統防護層的能力。定義為成功突防的反艦飛彈數量占總發射數量的比例，公式如下：

$$\text{突防率} = \frac{\text{成功突防的飛彈數量}}{\text{飛彈總發射數量}}$$

（三）紅軍船艦戰損率：衡量對紅軍船艦打擊的損傷效果。定義為在模擬中紅軍單艘船艦因遭受攻擊而失去作戰能力的比例。失去作戰能力的判定門檻為該艦在CMO兵棋系統內顯示的戰損值達到 50%以上。[14]研究共進行 50 回合模擬，每回合紀錄紅軍單艘船艦是否達到失能標準，並以 50 回合中達標次數的比例作為估計值。公式如下：

$$\text{戰損率} = \frac{1}{50}\sum_{i=1}^{50} \mathrm{I}(\text{戰損值}_i \geq 50\%)$$

（四）藍軍攻擊任務成功率：衡量整體攻擊任務達成既定作戰目標的能力，[15]定義為成功完成任務的次數占攻擊任務總執行次數的比例。公式如下：

$$\text{攻擊任務成功率} = \frac{\text{成功達成攻擊任務的次數}}{\text{攻擊任務總執行次數}}$$

四、模式模擬結果分析

本研究依實驗設計 8 個無人機整合反艦飛彈攻擊紅軍船艦的方案，並運用 CMO 電腦兵棋系統執行 50 回合蒙地卡羅模擬後（如圖 2-3），依據兵棋系統產出數據資料（如表 2-2），分別對各方案之「船艦防空攔截率」、「反艦飛彈突防率」、「船艦戰損率」及「攻擊任務成功率」等四項效能指標進行分析如下（如圖 2-4）。

[14] CMO 電腦兵棋系統可呈現交戰後，遭攻擊之目標的戰損值數據（Damage Point）。本研究失能定義，採取當系統 Damage Point 達 50%以上時，即宣告船艦失去作戰能力。

[15] 同註 14，當紅軍船艦失去作戰能力時（Damage Point 達 50%以上），即判定達成作戰目標。

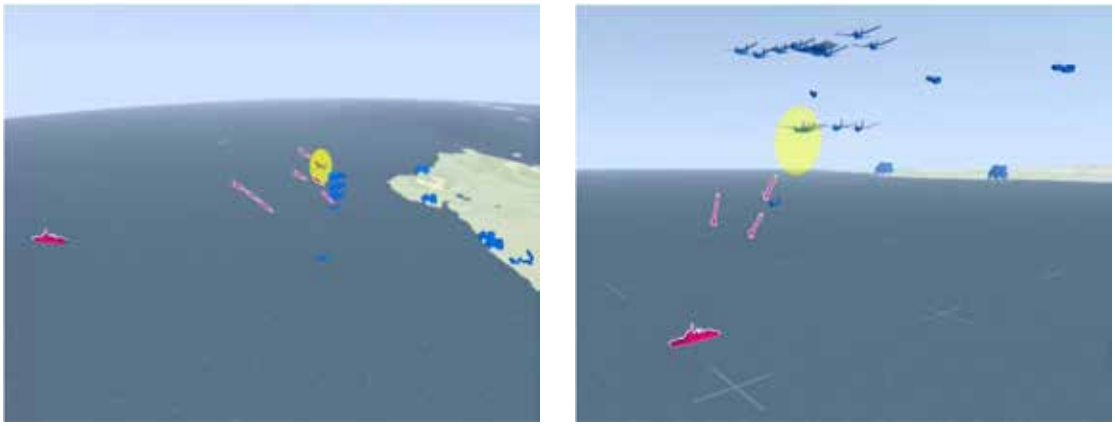


圖 2-3、無人機及整合反艦飛彈模擬攻擊紅軍船艦執行範例

資料來源：擷取自本研究 CMO 系統模擬回放。

表 2-2、各方案量測指標數據

方案／量測指標	攔截率	突防率	戰損率	成功率
方案 1	79.29%	89.00%	79.71%	98.00%
方案 2	67.50%	96.00%	89.46%	100.00%
方案 3	68.43%	95.00%	88.03%	100.00%
方案 4	60.80%	88.50%	85.44%	96.00%
方案 5	79.95%	2.50%	16.03%	4.00%
方案 6	69.50%	2.50%	28.17%	10.00%
方案 7	71.14%	4.50%	20.13%	12.00%
方案 8	51.18%	3.50%	26.56%	4.00%

資料來源：本研究依據模擬結果製表。

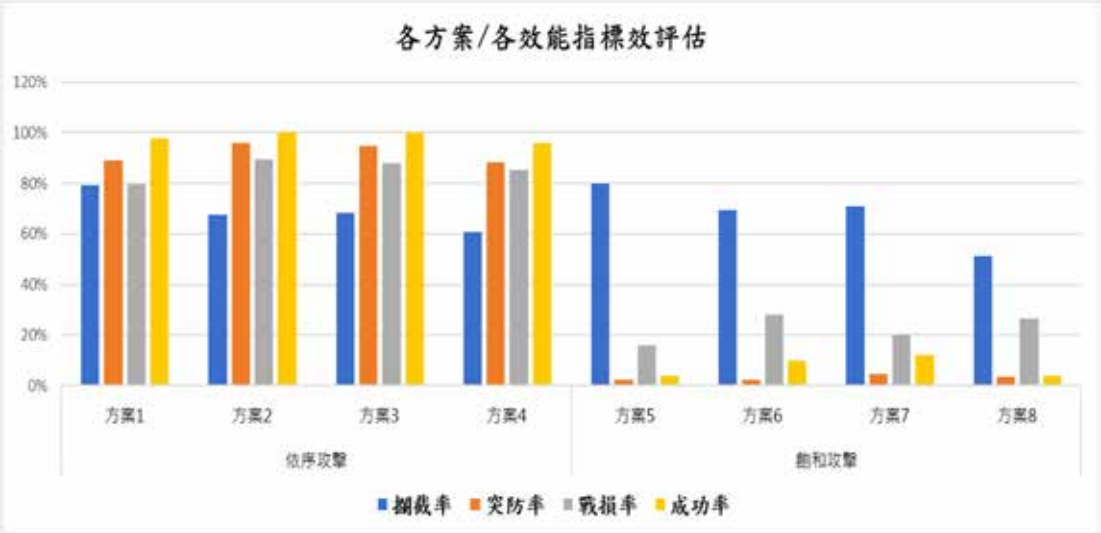


圖 2-4、無人機與反艦飛彈攻擊敵艦各方案/指標結果比較

資料來源：本研究整理繪製。

（一）敘述統計分析

為了解不同運用構想對整體作戰效能之影響，本研究針對模擬結果所產出之四項效能指標——「攔截率」、「突防率」、「戰損率」與「成功率」進行敘述統計分析。透過對各指標之集中趨勢、離散程度與分布形態的探討，初步掌握不同運用構想方案之間的效能差異與潛在趨勢，並為後續統計檢定與運用構想成效判斷提供實證基礎（如表 2-3）。

表 2-3、敘述統計分析

項目／指標	攔截率	突防率	戰損率	成功率
樣本數	8	8	8	8
平均數	68.73%	47.69%	54.19%	53.00%
標準差	9.38%	47.58%	33.96%	48.73%
最小值(Min)	51.18%	2.50%	16.03%	4.00%
最大值(Max)	79.95%	96.00%	89.46%	100.00%
四分位數	Q1 = 64.15% Q2 = 68.97% Q3 = 75.22%	Q1 = 3.25% Q2 = 46.50% Q3 = 90.50%	Q1 = 24.95% Q2 = 53.94% Q3 = 86.09%	Q1 = 8.50% Q2 = 54.00% Q3 = 98.50%

資料來源：本研究依據模擬結果製表。

1、紅軍船艦防空攔截率：

（1）各運用構想方案之攔截率介於 51.18% 至 79.95%，整體平均值為 68.73%，顯示紅軍艦船防空系統在高威脅模擬情境中，仍能表現出穩定的防禦能力。

（2）攔截率的標準差為 9.38%，相較於其他指標離散程度較小。顯示在不同運用構想下，紅軍船艦的防空效能差異不明顯。後續將進行統計檢定，以驗證是否存在顯著性差異。

2、藍軍反艦飛彈突防率：

（1）模擬結果顯示突防率離散程度較大。「序列攻擊」方案突防率皆超過 88%，而「飽和攻擊」方案則皆低於 5%，平均值約為 47.7%。

（2）突防率標準差高達 47.58%，反映不同運用構想對突防率具決定性影響，後續檢定極可能顯示高度顯著差異。

3、紅軍船艦戰損率：

（1）表現相對穩定但仍具差異性。「序列攻擊」方案戰損率均高於 79% ，「飽和攻擊」方案則皆低於 30%。「序列攻擊」方案戰損率表現集中，標準差低；而構想間之均值差異顯著，顯示戰損結果高度依賴運用構想設計。

（2）初步觀察突防率與戰損率在各方案間呈現一致的分布趨勢，推論兩者可能具正向相關性。整體平均戰損率約為 54.2%，惟僅約半數方案能造成較大程度之損害，顯示戰損率具顯著的運用構想依賴性。

4、藍軍攻擊任務成功率：

（1）呈現強烈的兩極化特徵。「序列攻擊」方案成功率達 96%以上；而「飽和攻擊」方案則僅為 4~12%，分布具明顯的分層效果。

（2）平均值雖為 53%，但在分布明顯呈現兩極化情況下，平均值無法作為具有代表性的集中趨勢指標。此結果亦顯示成功率可作為構想成效差異辨識的關鍵效能指標。

從四項效能指標的敘述統計結果觀察，「突防率」與「成功率」之變異性最為顯著，且呈現高度的「運用構想」區辨性，很可能在後續統計檢定中呈現顯著性差異；「戰損率」則具中等程度辨識力，構想間差異亦具潛在解釋力；相較之下，「攔截率」表現較為集中，變異程度有限，初步顯示在不同構想間可能不具統計差異。

（二）推論統計分析

為驗證不同運用構想方案（「序列攻擊」與「飽和攻擊」）在各作戰效能指標上的差異是否達統計顯著性，本研究採用雙樣本 t 檢定，並在考量樣本非常態分佈條件下，也採用 Mann-Whitney U 非參數檢定，針對「突防率」、「戰損率」、「成功率」與「攔截率」四項指標進行比較分析，結果如下：

1、攔截率：

為重要的防禦效能指標，惟檢定結果未呈現顯著差異（t 檢定 $p = 0.8876$，U 檢定 $p = 0.6857$），顯示不同運用構想下紅軍防空表現相對穩定，無統計上可辨識之顯著性。

2、突防率：

雙樣本 t 檢定與 U 檢定之 p 值皆 < 0.05（$p = 0.0000 / 0.0294$），顯示在不同的兩個運用構想下，突防率存在高度顯著差異。「序列攻擊」方案具明顯優勢，突防率平均高於 89%，而「飽和攻擊」顯著偏低（<5%）。

3、戰損率：

p 值亦顯著（$p = 0.0000 / 0.0286$），表示不同構想對紅軍船艦造成之損害程度具有統計差異性。「序列攻擊」方案平均戰損

率達 79% 以上，而「飽和攻擊」多集中於 16%~28%，效益明顯偏低。

4、成功率：

統計檢定結果顯示極顯著差異（p = 0.0000 / 0.0284），成功率在「序列攻擊」方案下趨近滿分（96%~100%），而「飽和攻擊」方案則明顯落後（4%~12%）。此結果進一步強化「成功率」為可有效區辨運用構想優劣之關鍵指標。

本研究推論統計分析結果顯示，在所評估的四項效能指標中，突防率、戰損率與成功率皆達統計顯著差異，並呈現高度的構想區辨性，顯示運用構想設計對作戰成效具關鍵性影響。相較之下，攔截率雖為重要防禦指標，惟在不同運用構想方案間表現相對穩定，未呈現顯著差異。綜合而言，研究結果支持「序列攻擊」方案在突防與任務達成層面具明顯優勢，可提供後續戰術戰法發展的實證依據。

陸、結語

本研究結合模擬實驗與統計分析，評估及驗證不同無人機運用構想對作戰效能之影響，模擬分析結果歸納如下：

一、重要發現

（一）運用構想具顯著成效差異：

模擬結果顯示，「序列攻擊」方案在突防率、戰損率與任務成功率三項指標上，均顯著優於「飽和攻擊」方案，並經檢定證實其具統計顯著性。

（二）突防率與成功率為高度區辨性指標：

兩者在不同運用構想下呈現極端分布，標準差均高達 47% 以上，且檢定結果具高度顯著性，反映出運用構想對突防率與成功率的高度影響性，並對後續無人機創新戰法發展提供支持。

（三）攔截率表現穩定，非運用構想區辨主因：

攔截率數據分布集中(標準差 9.38%)，檢定亦未達顯著水準，顯示該指標對區分運用構想成效之貢獻有限。此結果意涵為，紅軍船艦防空系統的攔截效能整體表現穩定，攔截率在不同運用構想下變異幅度有限，顯示運用構想對攔截率的影響並不顯著，非為主要區辨因素。

二、結論

運用構想的設計對作戰效能具有決定性影響，特別是在任務成功率與突防率方面尤為關鍵。模擬分析結果顯示，相較於「飽和攻擊」方案，「序列攻擊」在突防表現與任務達成上，展現出更為顯著的優勢。亦即，即使紅軍船艦防空系統性能優異，若攻擊方能有效整合無人機與反艦飛彈，發展具策略性之戰術戰法，則可有效提升攻擊方任務的成功率。

傳統上，攻擊方為壓制防禦方的防空火力，通常採取「飽和攻擊」的戰術，藉由多型、大量的武器同時攻擊目標，以超越防禦系統的攔截上限突穿防空網。然而，在實際作戰環境中，受限於不同武器系統的飛行速度、投射方向與距離等因素，欲使各型武器同步抵達攻擊區域具有一定難度，也因此給予防禦方可以逐次攔截威脅的機會。從戰術角度觀之，若能事先消耗或壓制敵方防空資源，將有助於主戰武器特別是反艦飛彈在後續攻擊中順利突防，提升整體的打擊效益。

無人機具備數量龐大、造價低廉、操控彈性高與低風險等優勢，適用於執行前沿偵蒐、火力誘引、防空制壓、精準打擊等任務。在反艦作戰中可作為主戰兵力的「火力開道者」，以破壞敵方的防空防禦體系與削弱其防空火力，為後續的主戰兵力創造有利的攻擊條件。因此，未來反艦作戰的戰術戰法發展，應將無人機與主戰

兵力納入整合運用的構想中，透過協同作戰與彈性任務配置，實現戰力倍增之效果，提升我不對稱戰力與強化海上拒止能力。

三、後續研究方向

本研究旨在建立整合無人機與現有主戰裝備執行反艦作戰之基礎分析框架，並發展具操作性的協同運用構想。後續研究可擴展為針對多目標編隊情境設計多波次、多軸向之攻擊想定，系統性評估突防與打擊效能，以提供無人機戰術戰法發展之重要參考；另外可評估空中無人載具與水面無人系統（swarm）協同主戰兵力之模式對作戰結果的影響；同時，納入防禦方潛在反制技術之模型，以檢視各種對抗環境下作戰概念之穩健性與外部效度，藉以評估與驗證「地獄場景」作戰模式的可行性與效益性。[16]

本文作者

林傳凱為國防大學管理學院運籌所碩士、國防大學政戰學院政治系博士候選人，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委任副研究員。主要研究領域為：作業研究、模式模擬、效益評估。

蔡承翰為美國克萊蒙研究大學政治經濟學博士。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助理研究員。主要研究領域為：國際政治經濟、衝突與和平、量化分析。

[16] 美印太司令帕帕羅（Samuel Paparo）提出「地獄場景」（Hellscape）戰略，作為嚇阻中國攻臺的關鍵。該戰略計畫在中共解放軍穿越臺灣海峽時，美軍部署大量無人系統將海峽轉變為「無人地獄場景」，阻礙解放軍的入侵的軍事行動，為臺灣和盟國爭取反應時間。然而，帕帕羅亦指出，即使「地獄場景」及時出現，單靠無人機群也無法匹敵北京在海峽一側的大規模軍事集結。Josh Rogin, “The U.S. Military Plans A ‘Hellscape’ to Deter China from Attacking Taiwan,” *The Washington Post*, June 10, 2024, https://www.washingtonpost.com/opinions/2024/06/10/taiwan-china-hellscape-military-plan/.

A Preliminary Study on the Integrated Operational Concept of UAV-Based Anti-Ship Warfare

Chuan-Kai Lin

Division of Cyber Security and Decision-Making Simulation

Cheng-Han Tsai

Division of Cyber Security and Decision-Making Simulation

Abstract

As unmanned aerial vehicle (UAV) technology continues to mature, its roles on the battlefield have become increasingly diverse. In particular, UAVs have demonstrated significant operational advantages in regional conflicts, including low cost, high mobility, and precision strike capabilities, making them a critical asset in asymmetric warfare. This study aims to explore an integrated operational concept that combines UAVs with anti-ship missiles. It employs the analysis-oriented computer wargaming system *Command: Modern Operations* (CMO) to simulate the operational effectiveness of Blue force UAVs coordinating with anti-ship missiles to attack Red force surface vessels in a hypothetical anti-surface warfare scenario.

The research adopts a three-factor, two-level experimental design to evaluate and analyze four key measures of effectiveness (MOEs): interception rate, penetration rate, damage rate, and mission success rate. Simulation results demonstrate that, compared to the “saturation attack” scheme, the “sequential attack” approach exhibits significant advantages in both penetration and mission success rates. These findings indicate that the appropriate employment of UAV strategies has a critical impact on the effectiveness of anti-ship operations. The results of this study provide an

important reference for the integration of unmanned systems and the development of related tactics and operational concepts.

Keywords:

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Anti-Ship Operations, Simulation Modeling, Asymmetric Capabilities, Denial Strategy

任務工程應用於灘岸殲敵之探討

賀增原

網路安全與決策推演研究所

壹、前言

伴隨著科技進步，以及戰場環境瞬息萬變，以往的武器獲得管理當中系統工程，採用 V-形圖的線性步驟以及耗時多樣的文件檔，在人工智慧演進與多領域交戰環境中進化至任務工程（Mission Engineering）。任務工程強調「數位流（Digital Threads）」以及實體與虛擬的共生，所謂的「數位孿生（Digital Twins）」，其可以敏捷反應周遭環境狀況於執行實體與虛擬的任務過程。目前的戰場環境，整合著有形的實體與無形的資訊交錯，包含橫跨陸、海、空、天等有形物理域以及資訊、網路、電子、電磁頻譜等的功能域。因此如何有效達到預期作戰任務的效能，僅從戰力間隙（Capabilities Gap）所採用的系統工程（System Engineering）遠遠不符當代複雜環境的需求，必須藉由更縝密規劃、仔細分析、組織與整合當前與新興作戰和系統（體系[System of Systems]）能力，運用任務工程，方能適應當前複雜之局勢。[1]

本文採用阻殲敵人於灘頭作為任務目標，紅軍攻擊武器為：兩棲合成旅的 05 式兩棲突擊車（ZTD-05 式）；藍軍防禦武器為：M1A2T 以及 M60A3 兩型戰車。交戰的戰場環境設計為台北港，戰車攻擊-接戰準則參考美軍戰車排標準作業程序，從裝甲兵的專業需求搭配品質機能展開法（Quality Function Deployment）去評估不同戰車的特性。並運用「指揮：現代作戰專業版（Command：Modern Operation Professional Edition, CPE）」電腦兵棋系統為模式模擬的工

[1] Robert Gold, “Mission Engineering,” Presentation at the 19th Annual NDIA Systems Engineering Conference, Springfield, October 26, 2016.

具，本文作戰效益評估（Measurement of Effectiveness, MOE）除了戰車戰損之外，外加考量現今戰場環境中精準的攻擊力，同時具備高度的靈活性與機動性，快速移動與迅速攻擊（反擊）皆列入評估依據。數位孿生中實際物理域的驗證可以藉由漢光 41 號第二天演習 M1A2T 火力驗證 19 發戰車砲全部精準命中得知其強大的攻擊力。[2] 本篇論文藉由參考文獻的蒐集，以介紹物理域的戰車部署、接戰行為、攻擊彈藥，希望藉由本文的探討，可以使讀者了解傳統的系統工程是以文件為導向，任務工程則是運用模型為導向，以評估最佳行動方案（Courses of Action），藉著虛實整合的驗證，快速地達成阻殲敵人於灘頭之任務目標。

貳、參考文獻

一、任務工程

任務工程主要的目的在於運用各種軍事決策達到成功任務的目標。一般軍事任務規劃經整理可以包含以下各階段：分析（Analysis）、設計（Design）、執行（Execution）與評估（Assessment）[3]；在「分析」階段明確任務目標，評估戰場環境與潛在敵情威脅；在「設計」階段發展行動方案，採取有效率的資源分配以達到任務目標；在「執行」階段協調不同單位，保持良好的溝通以完成行動；在「評估」階段指揮官評估戰果，以作為下一個任務規劃的參考。[4]武器的發展搭配不同階段的生命週期：軍品解決分析（Materiel Solution Analysis）、技術成熟度與風險降低（Technology Maturation & Risk Reduction）、工程與製造發展

[2] 尹智剛，〈漢光 41 號演習 DAY4-2／號稱「穿透戰車」殺手 M1A2T 戰車「貧鈾彈」亮相〉，《yahoo!新聞》，2025 年 7 月 12 日，https://reurl.cc/VWbq46。

[3] Editorial team, “Mastering Leadership and Mission Planning for Success,” *Military Leadership Development*, 2024, https://militarysphere.com/leadership-and-mission-planning/#Developing_Strategic_Mission_Plans.

[4] 同前註。

（Engineering & Manufacturing Development）、生產與部署（Production & Deployment）、操作與支援（Operations & Support）與汰除（Disposal）。[5]甚至結合輔助任務工程的支援計畫（Supporting Plans）所涵蓋不同領域，例如：資源配置、後勤支援、風險管理、指揮與控制（Command and Control, C2）、與系統整合（體系工程）。[6]如此全盤性規劃、分析與組織方能有效率達到所需的任務。

完成任務必須經歷一連串的活動，依續地進行，最終完成這項任務的目標。因此任務可以分解為許多活動的接續，然而要執行這些不同的活動需要在複雜的環境中進行，並且搭配不同功能的系統協同合作，因此輔助作戰模擬系統來評估最佳方案與戰術運用成為現今趨勢如圖 3-1。

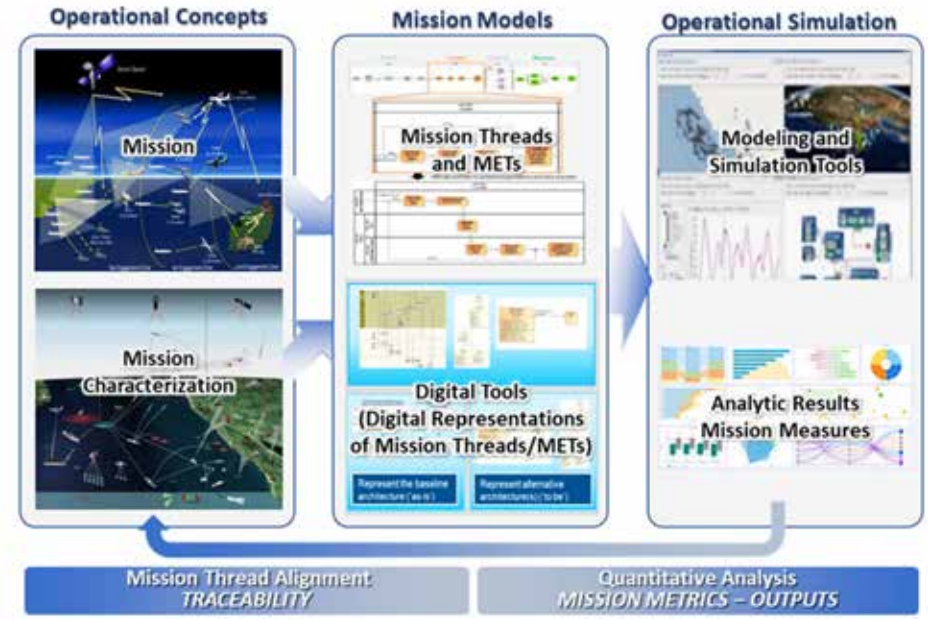


圖 3-1 、任務工程數位流的關聯

資料來源：“Department of Defense Mission Engineering Guide,” *Office of the Secretary of Defense for Research and Engineering Mission Capabilities*, 2023。

[5] Major Capabilities Acquisition — Acquisition & Procurement Milestones, Phases and Decision Points, *Defense Acquisition University*, VER. 2.1, October 21, 2022.

[6] A.S. Hernandez, T. Karimova, D.H. Nelson, “Mission Engineering and Analysis: Innovations in the Military Decision Making Process,” *Proceedings of the American Society for Engineering Management 2017*, International Annual Conference, E.H. Ng, B. Nepal, E. Schott eds, https://hdl.handle.net/10945/56686.

一個獨立的系統如何在動態的環境中與其他系統互動，進一步評估其在體系（System of Systems）中運作，當前一種普遍被採用的方法為「模型導向系統工程」（Model Based Systems Engineering, MBSE），在 MBSE 當中評估一組模型，檢視彼此之間的交互作用，可以作為評估任務的方向。[7]

一篇參考文獻利用海域掃雷的個案，採用「模型導向系統工程」扮演支持「任務工程」角色，作為反制水雷的評估驗證。文章中藉由貿易空間視覺化（tradespace visualization）亦就是將掃雷艦出擊時間、搜尋速度、布雷區水雷數量、偵測率、分辨率等用量化與圖形化顯示最佳分布的範圍，藉由此個案展示最佳化反制水雷的作業。[8]

二、品質機能展開法

品質機能展開法（Quality Function Deployment, QFD） 主要用在產品開發時，滿足顧客需求所開發出來一種功能（性能）評量法，是由赤尾洋二（Yoji Akao）及水野滋（Shigeru Mizuno）兩位專家為了改進產品而設計。在 1972 年日本「標準化與品質管理」（Standardization and Quality Control）期刊中發表「新產品開發與品質保證-品質展開系統」這篇文章，正式出現「品質展開」一詞。[9]

QFD 運用在軍事學術上有透過顧客（軍種後勤人員）的需求及推展效益後勤（Performance Based Logistics, PBL）之技術項目，使用品質機能展開法中的品質屋（House of Quality, HOQ）評估兩者之關係，經矩陣運算可以獲得效益後勤技術項目優先排序。此項結果可以提供決策者決定執行後勤委外方案優先順序。[10]

---

[7] Paulette Acheson, Cihan Dagli and Nil Kilicay-Ergin, “Model Based Systems Engineering for System of Systems Using Agent-Based Modeling,” *Conference on Systems Engineering Research*, 2013.

[8] Paul Beery and Eugene Paulo, “Application of Model-Based Systems Engineering Concepts to Support Mission Engineering,” *systems*, 2019, www.mdpi.com/journal/systems.

[9] 〈品質機能展開（QFD）與品質屋（HOQ）〉，《科技產業資訊室》，2007 年，https://iknow.stpi.narl.org.tw/Post/Read.aspx?PostID=3036。

[10] 商少剛，《藉由效益後勤（PBL）經驗探討空軍軍機商維模式》（桃園：國防大學理工學院動力及系統工程學系碩士論文，2021 年）。

結合 QFD 與狩野（Kano）二維品質模式運用在「國艦國造」計畫執行階段與生產製造階段尋找關鍵要素順序，第一階段先由狩野（Kano）二維品質模式找出各項要素的權重，第二階段藉著品質屋將顧客（海軍專業軍官）從計畫執行階段與生產製造階段反映至「國艦國造」關鍵要素重要度，包含有三項：國防自主、產業升級、經濟構面，藉由品質屋的關係矩陣獲得關鍵要素排序。[11]

QFD 在產品的運用甚至可以應用在電信業者的服務，從顧客需求包含有：接待能力、服務態度，對應到技術特性包含有：客戶平均響鈴數、服務人員處理平均時間、客戶轉接比例時間，藉此了解不同電信公司服務態度的好壞。[12]

QFD 不單只有一個評估矩陣品質屋，它是從第一層顧客需求對應技術特徵（技術指標）、接下來第二層將技術特徵（技術指標）轉化對應產品特徵（零件特性）、第三層將產品特徵（零件特性）對應製成規劃、第四層將製成規劃對應生產規劃，如此可以規劃產品全壽期各階段的優先順序如圖 3-2。

[11] 紀澄鋐，〈整合 KANO 模式與品質機能展開法探討我國海軍國艦國造政策推動之研究〉（桃園：國防大學管理學院運籌管理學系碩士學位論文，2012 年）。
[12] 傅鶴齡，《系統工程概論》（台中：滄海書局，2010 年）。

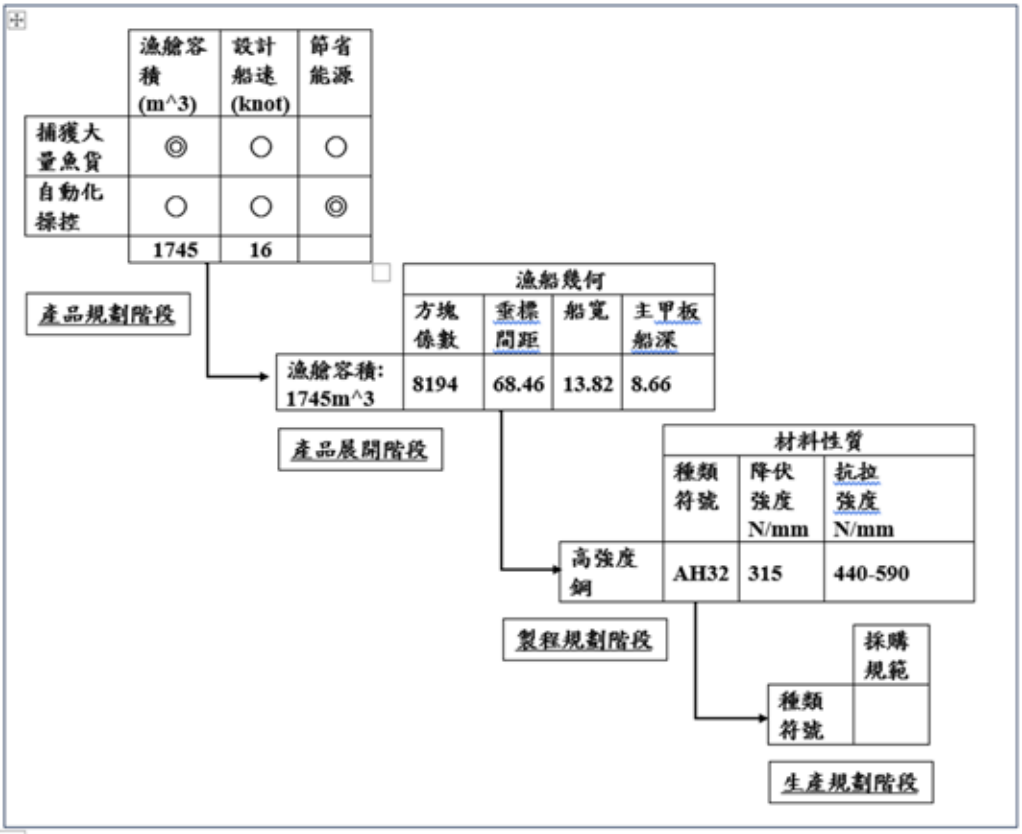


圖 3-2 、品質機能展開法各階段的任務

資料來源：賀增原，〈整合系統工程與設計螺旋步驟應用於船舶設計之探討〉，《中船季刊》，第 25 卷第 2 期，2004 年，頁 20-29 頁。

參、模式模擬推演

一、想定設計

2024 年 12 月 15 日我國陸軍向美國採購的 M1A2T 戰車已抵達台北港，其可以增強陸軍現役 CM11 與 M60A3 戰車，由於後者屬於 1980 年代產品，鑄造砲塔，欠缺複合式裝甲，主砲的穿透力也明顯不足，[13]引進 M1A2T 戰車可以提升攻擊、機動與防禦能力，相關的介紹如參考文獻。[14]本文隨後會用品質機能展開法中的品質屋去探討裝甲兵所需要的戰車性能與現有戰車（M1A2T 、M60A3 與敵威脅

[13] 呂炯昌，〈地表最強 M1A2T 戰車抵台畫面曝！特點一次看〉，《yahoo!新聞》，2024 年 12 月 16 日，https://reurl.cc/5R9EQv。

[14] 涂鉅旻，〈引進 M1A2T 後現役戰車能「魔改」嗎？ 退將點出這些關鍵〉，《自由時報》，2024 年 10 月 13 日，https://def.ltn.com.tw/article/breakingnews/4829280；涂鉅旻，〈眾所期盼！ 陸軍新霸主 M1A2T 戰車今運抵台灣〉，《自由時報》，2024 年 12 月 15 日，https://def.ltn.com.tw/article/breakingnews/4894043。

兩棲 ZTD-05 式突擊車）比較，並且將想定輸入至電腦模擬系統（CPE）中，檢討彼此之間的差異。

本文任務目標限縮阻殲敵人於灘頭，紅軍攻擊武器為：兩棲合成旅的 05 式兩棲突擊車（ZTD-05 式）；藍軍防禦武器為：M1A2T 以及 M60A3 兩型戰車，整個行動方案如表 3-1。交戰的戰場環境為台北港如圖 3-3，此過程運用不同攻擊彈藥交戰，整個過程執行蒙地卡羅 50 回，統計不同戰損的機率。

表 3-1 、三種行動方案

想定	紅軍不變	想定一	想定二	想定三
武器	ZTD-05 式	M60A3	M1A2T	M60A3+M1A2T
數量	4 輛	4 輛	4 輛	2 輛+2 輛

資料來源：作者整理。

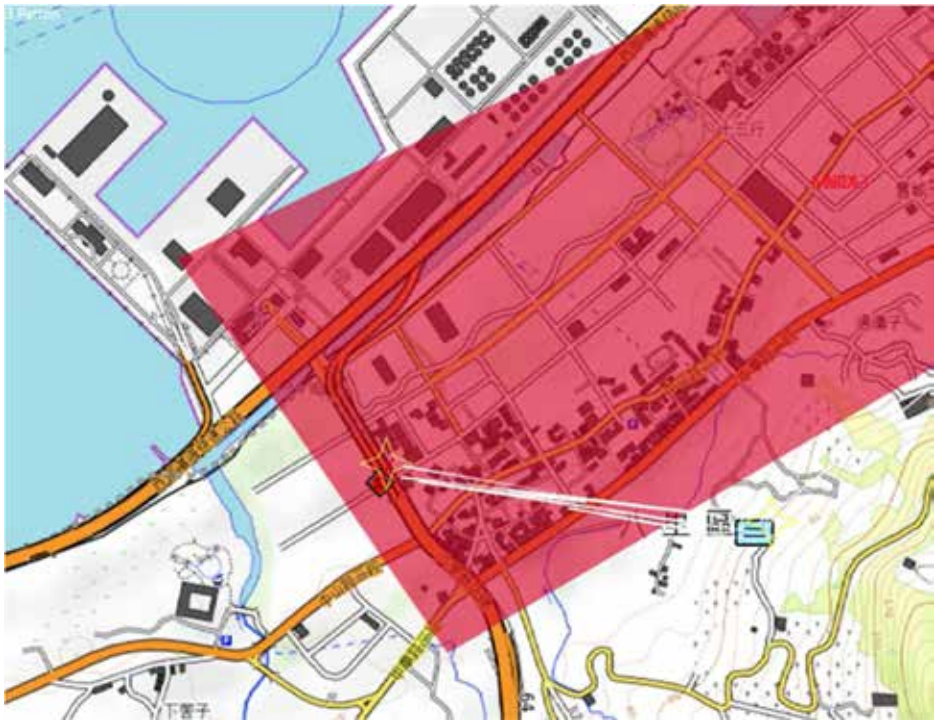


圖 3-3、台北港交戰畫面（紅色區塊為戰車巡邏區）

資料來源：作者整理。

二、戰車戰術運用

一般戰車連由三個排編成，每排 4 輛戰車，一連有 12 輛。參考美軍戰車排標準作業程序戰車部署，排在執行戰術運動時，使用下列八種基本隊形：1、縱隊 2、交錯縱隊 3、楔隊 4、V 形隊 5、環形隊 6、魚骨隊 7、左（右）梯隊 8、橫隊。相關圖形如圖 3-4。[15]

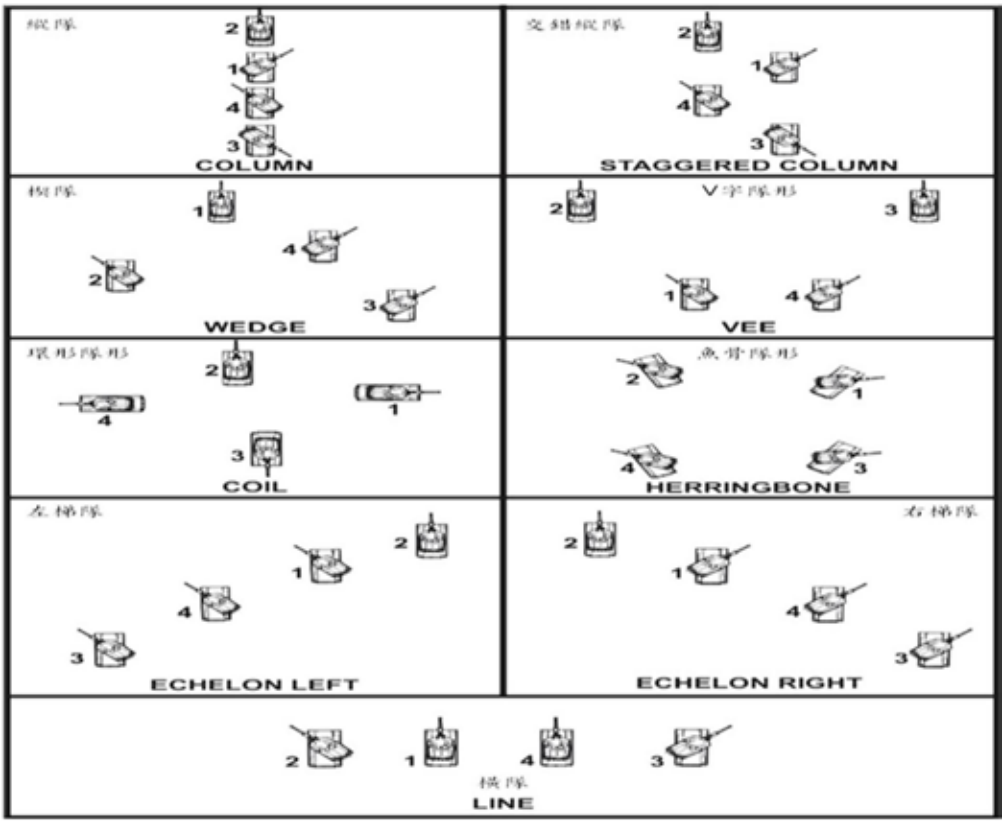


圖 3-4 、戰鬥隊形

資料來源：陳韋侖，〈探討 M1A2 戰車目標獲得與射擊指揮提要〉，《裝甲兵季刊》，第 253 期，2010 年，頁 95-134。

戰車接戰程序從目標搜索、目標識別、目標確定（威脅等級、彈藥選用、距離判別）、接戰（戰鬥瞄準、射擊口令）、效果評估（射擊效果、毀車樣態）。[16]從目標識別到戰後評估，本文整理射擊任務的流程圖如圖 3-5。[17]

---

[15] 葛祐成、廖松柏，〈美軍戰車排標準作業程序 - 作戰篇（譯文）〉，《裝甲兵季刊》，第 255 期，民國 109 年 3 月，頁 95-134。

[16] 陳韋侖，〈探討 M1A2 戰車目標獲得與射擊指揮提要〉，《裝甲兵季刊》，第 253 期，民國 108 年 9 月，頁 1-46。

[17] 〈戰車如何發揮戰力？談科技如何改變接戰程序〉，《尖端科技軍事雜誌社》，https://www.dtmdatabase.com/News.aspx?id=356。（檢索日期：民國 114 年 2 月 24 日。）

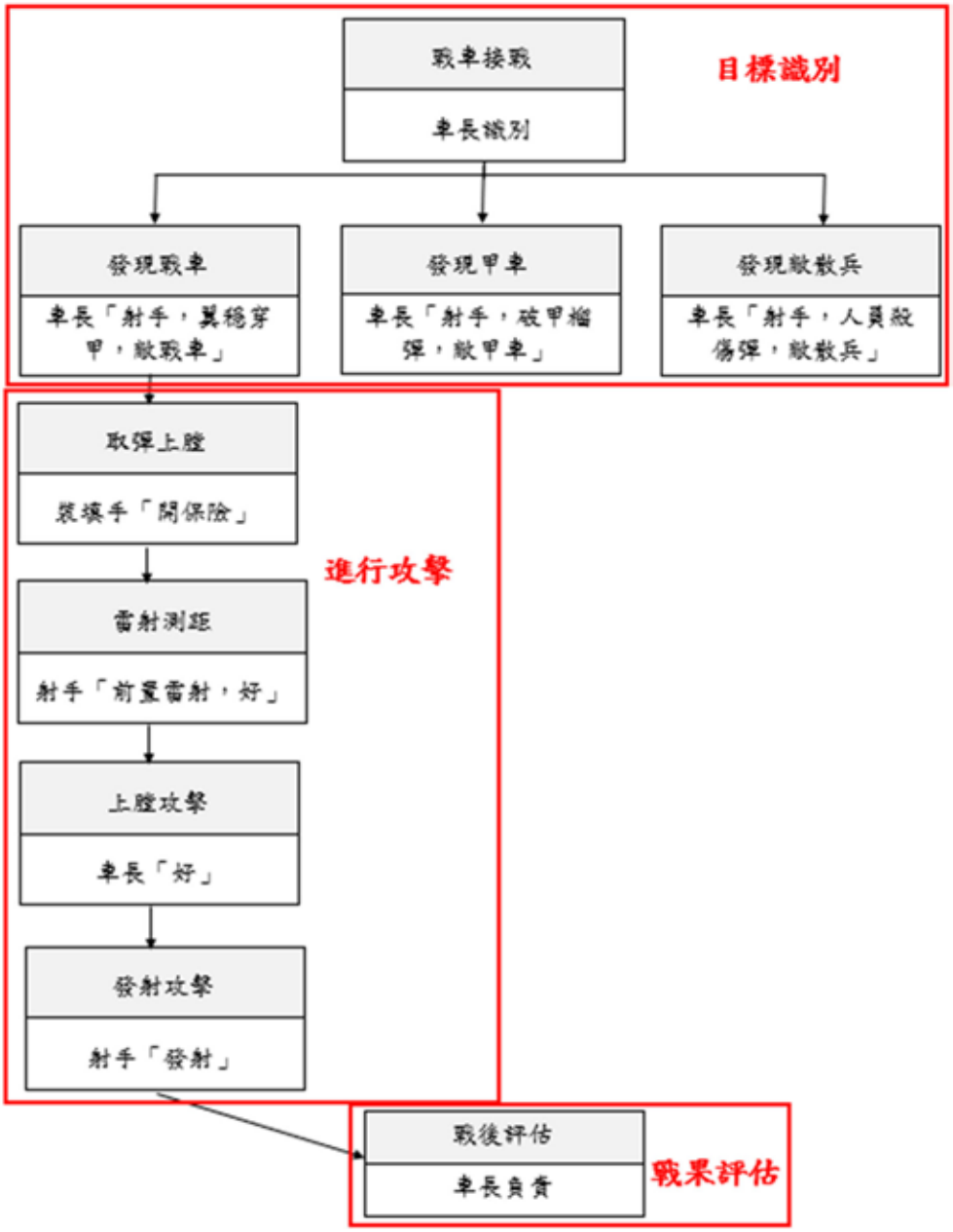


圖 3-5 、射擊任務

資料來源：作者整理作者整理〈戰車如何發揮戰力?談科技如何改變接戰程序〉，《尖端科技軍事雜誌社》，https://www.dtmdatabase.com/News.aspx?id=356。

三、品質屋分析戰車性能

戰車在戰場上主要有三項關鍵性能：**攻擊力**（遙控武器、自動裝填、觀瞄系統、無人砲塔、砲射飛彈）、**防護力**（主動防護、反應

裝甲、適應紅外線匿蹤）與**機動力**（燃氣渦輪、柴油機）。[18]此三項關鍵性能，進一步萃取出裝甲兵所需要的技術，包含有：1、「獵-殲（Hunter-Killer）」系統，利用獨立觀瞄系統，包含雷射測距儀與紅外線熱像儀，讓車長與射手擁有各自觀瞄系統，使得射手在處理瞄準之時，車長同步處理新一輪搜索與目標識別，讓接戰的時間越短越好；[19] 2、由於無人機偵察技術進步，加上遠程打擊火力加強，因此高度靈活性與機動性，快速移動與快速攻擊都是現代戰爭中態勢；3、當遭受網路和電子攻擊，而喪失通訊能力，各部隊在無法通聯條件下，如何可以各自獨立遂行指揮與戰鬥（進一步車長與射手各別執行戰鬥任務）；4、重視後勤與補保重要性，此為作戰戰術與機動根源。鑒於以上的說明，將這些指標分別放入品質屋中，藉由專業的評估，獲取各項的優先順序如表 3-2。

表 3-2 、戰車關鍵技術的品質屋

	M1A2T						競爭分析	
相關：◎(5) 中相關：○(3) 低相關：△(1)	具有「獵-殲」系統	複合裝甲	防爆門與洩壓板	燃氣渦輪	輔助電源系統	遙控槍塔	M60A3	ZTD-05
良好觀瞄系統	◎						○	◎
彈艙保護系統			◎				△	△
更佳防護力		◎			◎		○	○
高度靈活性與機動性				◎	◎		△	○
各別遂行指揮與戰鬥	◎				◎	◎	△	○
指管通資系統	◎				◎		○	○
彈藥數據鏈路	◎				◎		△	△
後勤與補保支援				○			◎	○
總分	20	5	5	8	25	5		

正相關：▲
負相關：▼

註：M1A2 砲塔中有一項裝置是其它戰車少有，就是裝填手後側彈艙具有防爆

[18] 賀增原、陳志沛、黃景裕，〈運用系統思考探討戰車發展脈絡〉，《新新季刊》，第 47 卷第 3 期，2019 年 7 月，頁 176-184。

[19] 涂鉅旻，〈圖解軍武」「地表最強」非浪得虛名！ M1A2T 戰車年底起抵台〉，《自由時報》，2024 年 9 月 23 日，https://def.ltn.com.tw/article/breakingnews/4808041。

門（編號 6），主要目的在於防止彈艙遭到突襲，引發殉爆。在殉爆當下，可以藉由彈艙上方的洩壓板釋出爆壓（編號 7，此示意圖表示錯誤，洩壓板不是前後排列，而是左右排列，同時洩壓板有裝置連接彈艙，不使它在殉報的情況下，飛出誤擊自己的士兵），保障砲塔內三名裝甲兵的生命，相關人員配置如圖 3-6。

資料來源：作者徵詢專家彙集。

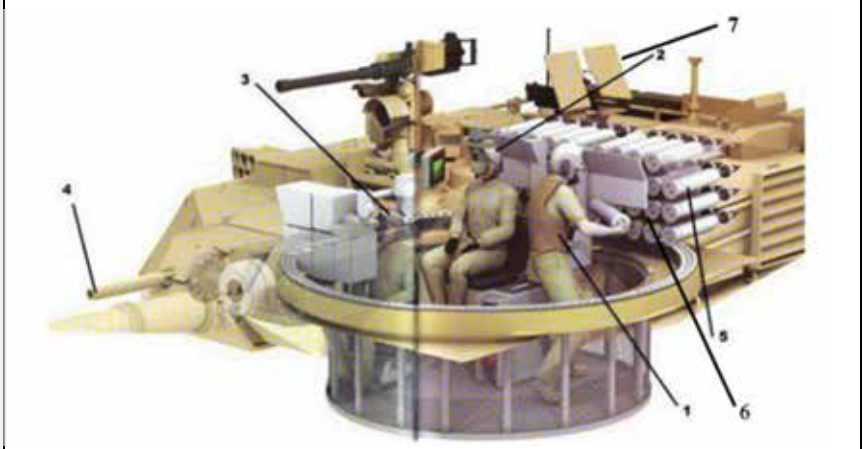
砲塔配置	
編號說明	1、裝填手；2、車長；3、射手；4、同軸機槍；5、砲彈；6、防爆門；7、洩壓板

圖 3-6 、M1A2 砲塔內相關配置

資料來源：賀增原，〈詭譎戰爭場域中主力戰車之進化〉，《陸軍後勤季刊》，2022 年第 3 期，2022 年 8 月，頁 46 至 54。

肆、執行成果

一、第一階段執行情況與結果

三種不同的行動方案如表 1，在 CPE 執行蒙地卡羅 50 回模擬交戰時間為 4 小時，執行過程如圖 3-7。

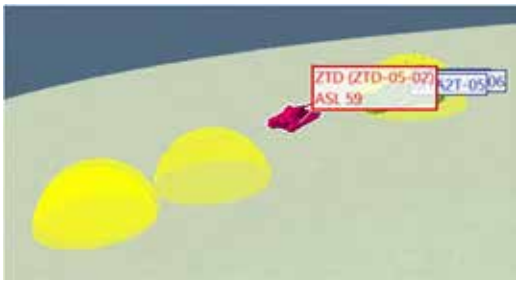
紅藍軍交戰前	紅藍軍交戰後
	
註：紅軍為 ZTD-05 式兩棲突擊車，藍軍在不同想定分別部署不同戰車。	

圖 3-7 、第一階段執行過程

資料來源：作者整理。

第一階段執行 CPE，不同的行動方案如表 3。

表 3-3 、第一階段執行戰損結果

行動方案 戰車戰損	COA1 M60A3	COA2 M1A2T	COA3 MIX_route
ZTD-05	158	158	168
M60A3	111		46
M1A2T		118	73

資料來源：作者整理。

由表 3 可以得出，由於所有戰車在 CPE 內所擁有的防護力都一樣。因此，M60A3 與 M1A2T 根本分不出優劣，執行出來的結果與事實差異很大，所以蒐集資料，重新定義電腦模擬系統內參數，將各戰車防護強弱整理如表 3-4。

表 3-4 、戰車防護強弱

戰車種類 / 參數調整	M1A2T	M60A3	ZTD-05
防護強弱	3	1	1
電腦模擬系統內參數 (Damage Point, DP)	9	3	3
理由	正面抗動能彈 960mm；抗化學能 1620 mm。[20]	均質裝甲，抗穿甲防護達 500mm。[21]	車體鋁質裝甲及砲塔外掛複合式裝甲抗穿甲力達 500mm。[22]

資料來源：作者整理。

電腦模擬系統內參數除了 DP 值的修改，另外由於 M60A3 戰車為第二世代主力戰車雖具有數位或類比式射控系統及夜戰能力，惟車體設計及防護力仍停滯在 70 年代，解放軍 ZTD-05 兩棲突擊車具有數位化戰場管理系統、複合裝甲、具備「獵-殲」射控系統為中共第三代主力戰車。[23]因此於電腦模擬系統內參數重新修正如表 3-5。

表 3-5 、電腦模擬系統內參數重調

原編號	Damage P		General Armor		Ergonomic		OODA(D、T、E)	
	原	新	原	新	原	新	原	新
#240 - ZTD-05	0	3	Light (31-35mm RHA)	Light (31-35mm RHA)	Average	Average	6/2/4	8/2/4
#376 - M60A3	0	3	Heavy(141-200mm RHA)	Heavy(141-200mm RHA)	Average	Poor	8/3/5	8/3/5
#378 - M1A2T	0	9	Heavy(141-200mm RHA)	Special (201-500mm RHA)	Average	Excellent	6/2/4	5/1/3

註：表格中 OODA 與三個值（D, T, E）相關，分別代表 D（Detect）（偵測）、T（Target）（瞄準）、E（Escape）（逃離），此三個值越小越好，代表偵測與機動力都更將靈敏。將這些值重新整理，設定 ZTD-05：M60A3：M1A2T=8/2/4：8/3/5：5/1/3。

資料來源：作者整理。

二、第二階段執行情況與結果

在電腦模擬系統內攻擊彈藥有翼穩脫殼穿甲彈（Armor-piercing

[20] 涂鉅旻，〈我 M1A2T 戰車裝甲夠力嗎？ 前聯兵營長揭同級車有「五層」防護〉，《自由時報》，2024 年 12 月 23 日，https://def.ltn.com.tw/article/breakingnews/4901557。

[21] 畢家麟，〈國軍 M60A3 主戰車性能提升研改延壽之芻議〉，《陸軍學術雙月刊》，第 53 卷第 553 期，民國 2017 年 6 月，頁 90-114。

[22] 林俊安，〈國軍現役主戰車構型研改規格規劃初探〉，《陸軍後勤季刊》，2017 年第 1 期，2017 年 2 月，頁 24-39。

[23] 同註 21。

fin-stabilized discarding sabot , APFSDS）即所謂動能穿甲彈。[24]反戰車高爆彈（High-Explosive Anti-Tank, HEAT）使用爆炸產生化學能，不過穿透裝甲的方式是動能。[25]高爆榴彈（High-explosive bombs, HE）擅長執行殺傷軟目標，例如:人員、卡車或雷達。

經過各項參數的調整，第二階段執行 CPE 蒙地卡羅 50 回，模擬交戰時間為 6 小時，兩棲突擊車（ZTD-05 式）增加為 8 輛，藍軍數量不變，不同的行動方案戰損結果如表 3-6。

表 3-6 第二階段執行戰損結果

行動方案 / 戰車戰損率	COA1 M1A2T	COA2 M60A3	COA3 MIX_route	COA4 MIX_route
ZTD-05	98%	82%	94.3%	98.8%
M60A3		87%	51%	76%
M1A2T	65%		87%	45%

註：COA3 與 COA4，最大的差異在於 M60A3 戰車與 M1A2T 戰車的位置互調。
資料來源：作者整理。

在軟體中更改 Heat 彈頭破壞值從 1 增加至 2，但是依據系統執行結果發現彈頭的 DP 值與戰車承受的 DP 值，並非累加的概念，例如：M1A2T 的 DP=9，並非可以承受 4 枚的 Heat 彈，在執行完 WeaponEndgame 檔案中，不論是 APFSDS, HEAT 或者 HE，大多以一枚就造成戰車的 kill。

第二階段執行結果，發覺在調整參數後，在 2 倍數量解放軍兩棲突擊車（ZTD-05 式）來襲，不同戰車的戰損率可以分辨出 M1A2T 戰車戰損率低於 M60A3 如表 3-6。反而值得玩味的數據是當我們派出 M60A3 與 M1A2T 各兩輛，由於具有速度的差異，造成有兩組的攻擊隊形，另外由於部署的位置差異，也會造成兩型戰車戰

[24] 趙炳強譯者，〈淺談反戰車武器〉，《國防譯粹》，第五十卷第一期，民國 112 年 1 月，頁 90-96。

[25] 同註 24。

損率差異。

伍、結語

本文主要是介紹 2016 年美國國防部所推動的任務工程，由於戰場環境日益複雜，人工智慧在二十一世紀快速進步，因此如何可以評估任務是否可以成功，在不同行動方案中藉由模式模擬分析，或者數位孿生進行有效的比對，如此可以提供決策者一個明確的方向。

本文盡可能用各種客觀的方法試圖去解說任務工程，包含想定設計將整個場景限縮於灘岸殲敵，利用 2024 年 12 月 15 日 M1A2T 戰車抵達台北港，加上 M60A3 與解放軍的威脅兩棲 ZTD-05 式突擊車比較，並且本文附上戰車戰術的介紹，並使用品質屋萃取裝甲兵所需要的技術以客觀比較三輛戰車。最後的階段利用 CPE 電腦兵棋系統，作了參數修調，分成兩個階段，可以表現出 M1A2T 的戰損程度較低，同時戰車部署的位置也會影響接戰的結果。整篇文章大致的將任務工程介紹，希望能將此概念帶給國內軍事專家一種嶄新的思維。

本文作者賀增原為國防大學中正理工學院國防科學研究所博士，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研究員兼所長，研究領域：決策分析、國防武器獲得管理、系統工程、關鍵礦物。

A Study on the Application of Mission Engineering to Coastal Enemy Elimination

Tzeng-Yuan Heh

Division of Cyber Security and Decision-Making Simulation

Abstract

The U.S. Department of Defense promoted “Mission Engineering” in 2016 due to the increasing complexity of the battlefield environment and the rapid advancement of artificial intelligence. It aims to evaluate mission success through modeling simulation by way of different courses of action.

It is hoped that the discussion in this paper will enable readers to understand that traditional system engineering is document-based, while mission engineering utilizes modeling and simulation as a guide to evaluate the best courses of action, and to utilize the verification of virtual-reality integration to quickly achieve the required missions.

This paper attempts to explore the tank performance required by armored soldiers in comparison with the existing tanks （M1A2T, M60A3, and ZTD-05） by using the house of quality form the Quality Functional Deployment （QFD） and inputting the scenario concepts into the CPE to review the differences among the three tanks.

It can be shown that the M1A2T has a lower level of battle damage by utilizing the CPE. At the same time, we can find the position of the combat vehicles also affects the outcome of engagement. This article introduces mission engineering in general, and hopefully it will give the new thinking for authors.

Keywords: Mission Engineering, Digital Threads, Digital Twins

代理人基礎模型在全社會防衛韌性之應用

蔡承翰

網路安全與決策推演研究所

壹、前言

在面對灰色地帶衝突、極端氣候災害與資訊戰等多重非傳統威脅交織的當代戰略環境中，臺灣已將「全社會防衛韌性」（Whole-of-Society Defense Resilience）視為國防轉型與社會安全的核心戰略目標。雖說全社會防衛韌性與傳統軍事安全有別，但此一概念強調軍民整合、跨域協作與民間能量的全面動員，不僅提升災害與衝突期間的應變能力，更強化社會在面對衝擊後的持續運作與快速復原能力。因此全社會防衛韌性其實可以說是兼具傳統軍事安全與非傳統軍事安全的面向。2025 年「漢光 41 號演習」首次納入多項社會基礎運作中斷的模擬情境，包括通訊、電力、交通與醫療系統的失能與復原機制，標誌著臺灣防衛演訓已從傳統軍事作戰轉向更為複雜的「平戰轉換」與整體韌性建構。進一步而言，「漢光 41 號演習」中所實施的「全國性城鎮韌性演練」，更是臺灣首次跨縣市、跨部會整合的全國層次的演練行動。[1]該演練模擬敵軍導彈襲擊、交通與通訊癱瘓，以及關鍵基礎設施遭攻擊等演練場景，地方政府需即時啟動替代指揮系統、動員民防與消防能量、調度緊急醫療資源，並協調志工與民間組織投入庇護收容與物資分送作業。演練同時測試「異地指揮所」運作、「電力備援」切換系統、與「災區醫療分級轉送」能力，強化政府與社會各界在重大危機下的協同應變與自我支撐機制。根據總統府所推動的政策藍圖，全社會防衛韌性涵蓋五大核心面向，包括民力訓練、戰略物資與糧食安全、關鍵基礎設施

[1] 各縣市參與城鎮韌性的資訊可以參考下列網頁：https://www.upmedia.mg/news_info.php?Type=24&SerialNo=233864。台南市因為投入丹娜絲颱風災後重建，故取消本次城鎮韌性演習。

維運、社福醫療與避難設施整備，以及政府與產業持續運作機制。其中，關鍵基礎設施維運可謂韌性體系中的關鍵樞紐，其範圍涵蓋電力、通訊、水資源、交通運輸與數位基礎建設等系統，任何一項若遭破壞或癱瘓，皆可能引發全面的系統性衝擊，進而削弱整體社會運作與防衛效能。因此，政府特別強調「多重備援」、「異地部署」與「在地自救」等概念，透過實兵演練與跨區協調等方式，全面檢視系統抵抗受損的能力與快速恢復機制。同時，在去中心化與社區動員的原則下，強化地方政府與基層組織的初級應變能量，也成為提升整體社會防衛韌性不可或缺的一環。透過中央與地方、軍方與民間、政府與產業的橫向整合與縱向動員，全社會防衛韌性正在逐步從政策宣示轉化為具體制度與現場實踐，為臺灣面對未來多元威脅奠定堅實的安全基礎。

如前所述，全社會防衛韌性涵蓋民力訓練、戰略物資與糧食安全、關鍵基礎設施維運、社福醫療與避難設施整備等五大面向。2025 年城鎮韌性演習即是上述政策構想的實際演練。其中一項重點在於防空警報解除後，於特定地點進行後續的救災與醫療應變演練。內容包括災民轉移與收容的「救濟站」設置、現場傷患處置的「急救站」部署，以及災區搜救與環境清理等行動。 此類演練不僅檢視地方政府動員與跨部門協調的實務能力，更進一步顯示在緊急情境下持續維持醫療體系運作的關鍵地位。

事實上，醫療韌性的建構必須同時涵蓋戰術層級與民用層級的有效銜接。具體而言，戰術戰傷救護（Tactical Combat Casualty Care, TCCC）主要負責在高風險戰場環境中執行即時止血與初步處置，緊急救護技術員（Emergency Medical Technician, EMT）則承擔後線穩定救治與轉診後送任務。介於兩者之間，戰術緊急救護（Tactical Emergency Casualty Care, TECC）則是專為警察、消防、特勤與民防

等人員設計，適用於遭遇暴力攻擊、恐怖攻擊或大型災難等「準戰場」場景，其流程與訓練架構承襲 TCCC 原則，卻更貼近民間應用需求。

TCCC、TECC 與 EMT 三者分別定位於戰術區、準戰區與民用後送區域，形成一套層次分明、任務明確的醫療應變系統。三者協同運作、相互銜接，共同構成災難與戰時醫療應變體系的核心架構，亦是全社會防衛韌性中不可或缺的關鍵支柱。

貳、戰術戰傷救護、戰術緊急救護與緊急救護技術

戰術戰傷救護（TCCC）是一套專為戰場環境所設計的創傷處置準則，起源於美國特種作戰部隊，並於 1996 年正式納入美軍到院前創傷救護手冊，成為標準作業流程之一。TCCC 的核心目標為三大任務並重：保障傷患生命、預防更多傷亡，以及協助完成作戰任務。不同於一般醫療系統，TCCC 強調的是在敵方火力持續攻擊、資源匱乏與通訊困難的高風險情境下，第一線人員如何依據戰術環境迅速做出醫療判斷與處置。根據美軍實務經驗，TCCC 的全面推行已大幅降低戰場致死率，從越戰時期的約 15% 降至伊拉克與阿富汗戰爭期間的 7.6% 至 9.4%；其中，多數可預防性死亡皆與四肢大出血與氣道阻塞有關。[2]

TCCC 採取三階段處置流程：敵火下救護（Care Under Fire）、戰術區照護（Tactical Field Care）與戰術後送照護（Tactical Evacuation Care），並以 M.A.R.C.H. 原則（Massive Hemorrhage, Airway, Respiration, Circulation, Hypothermia）作為核心處置架構。不同於緊急救護技術員（EMT）所採行的 ABCDE 模式，TCCC 優先處理可致命大出血，再進行氣道與循環維持處置，強調「先救可戰

[2] 姜人瑜、陳建浩，〈國軍戰術戰傷救護發展與精進作法探討研析〉，《陸軍後勤季刊》，第 4 期，2018 年，https://reurl.cc/Y39Yjl。

鬥人員，再穩定重症患者」的戰術優先順序（許聖德，2021）。[3]例如，在敵火持續壓制的場域中，立即以止血帶控制四肢出血為首要行動；而在進入較安全的階段後，才依序處理呼吸與循環問題。

臺灣自 2016 年起由國防醫學院衛勤訓練中心導入 TCCC 訓練課程，針對具 EMT-1 資格之志願役人員設計班隊，內容結合實兵演練與模擬戰場情境，包括掩體救援、火力壓制下救護、MARCH 處置與戰術後送回報程序等操作訓練。2023 年底，國防醫學院衛勤訓練中心啟用「戰術戰傷及災難事故救護訓練大樓」，專責訓練軍方人員應對高風險環境下的傷患救護任務，同時也協助消防、警政等民防體系辦理 TECC（戰術緊急傷患照護）課程與證照認證，強化平時應變與戰時轉換的接軌能力。根據中央社報導（2024 年 5 月 26 日），國軍此項整合 TCCC 與 EMT 能量的措施，標誌著戰術與民用醫療應變系統之間的聯動已逐步成形，為全社會防衛韌性奠定更堅實基礎。[4]

此外，醫界亦已呼籲應將 TCCC 納入災難醫療體系的一環。由於 TCCC 所累積的戰場創傷照護經驗具高度實證支持與標準化流程，已成為適用於大規模災難現場的重要指引。不僅僅是一套軍事專業技術，TCCC 更逐漸被視為強化我國醫療韌性與全民防衛體系的重要基礎。

值得注意的是，TCCC 與 EMT 在實際演練情境中存在明顯差異。TCCC 主要應用於戰場或高風險環境的「熱區」與「戰術區」，而 EMT 的訓練與執勤場域則以日常生活中的「冷區」與災後處置為主。前者著重即時止血與初步救命處置，後者則強調穩定病況與後送銜接。兩者在空間位置與任務分工上本質不同。

---

[3] 潘師典、陳俊宏、陳柏銓，〈戰術戰傷「Role 1」於台灣災難應變的運用〉，《台灣急診醫學通訊》，第 5 卷第 2 期，2022 年，https://www.sem.org.tw/EJournal/Detail/393。

[4] 游凱翔、吳書緯，〈戰傷救護提升存活率 重要性、國軍推動現況一次看〉，《中央社》，2024 年 5 月 26 日，https://www.cna.com.tw/news/aipl/202405260037.aspx。

為強化兩者間的有效銜接，「戰術緊急救護」（Tactical Emergency Casualty Care, TECC）應運而生。TECC 為一套參考 TCCC 標準而設計的災難醫療準則，適用於第一線警察、消防與特勤單位所面對的「準戰場環境」，如槍擊案、爆炸、恐攻或複合型人為災難等場景。根據黑熊學院（2024）說明，TECC 所強調的核心理念包括：安全為先、任務導向、資源有限下的處置優先順序，並強調應變人員在壓力中能執行有效、簡單與可重複的流程操作。[5] TECC 可以說是 TCCC 的民間版本。

整體而言，TCCC、TECC 與 EMT 分別定位於戰術層級、準戰術層級與民用後送層級，三者共同構成層次分明、分工有序的醫療應變體系。此一體系的建構與整合，不僅是國防戰備中的衛勤核心，更是建立全社會防衛韌性、提升關鍵基礎設施應變能力不可或缺的重要支柱。

參、研究方法：代理人基礎模型之應用

本文將在此節敘述主要使用的研究方法。如前所述，本文採用代理人基礎模型，以模擬並評估 TCCC、TECC 及 EMT 等不同急救體系在戰傷救治成效上的差異與影響。本文將首先說明使用代理人基礎模型的理由，接著介紹其基本原理與跨領域應用。

選擇代理人基礎模型的主要原因，在於 TCCC、TECC 與 EMT 等急救體系的實施場域，多發生於戰場這類高度不確定且瞬息萬變的環境。在真實戰場中，無論是實地操作的成本、不同層級救護人員的數量與配置，或是實驗條件的可重現性，皆充滿挑戰。傳統方法難以滿足在此類動態環境中進行多情境評估的需求，唯有透過模

[5] 陶漢，〈那些你該考慮進修的救護技能（二）：美軍急救體系「戰術戰傷救護」〉，《黑熊學院》，2024 年 8 月 20 日，https://kuma-academy.org/article/41。

擬方式，方能建立具彈性的實驗條件，進一步比較不同體系的救治效益與系統表現，而代理人基礎模型正是實現此目標的重要工具。

Railsback 與 Grimm（2012）指出，代理人基礎模型是一種模擬方法，用以描述由多個具獨立行為邏輯的個體，即代理人（agent）所組成的系統。這些代理人能彼此互動，並與所處環境產生動態關係。相較於假設系統整體平均行為的分析架構，代理人模型更能掌握系統中異質性與非線性互動所造成的複雜性。其應用涵蓋廣泛，不僅限於社會科學領域，也深入生物學、生態學與公共衛生等自然科學領域。[6]

舉例而言，在軍事行動分析上，傳統評估方式常以部隊整體的平均行動能力為基礎，或預設個體行動規則一致，難以真實呈現士兵間的差異與互動。然而代理人模型可賦予每位士兵或作戰單位不同的特性與決策邏輯，如士氣、體能狀態、裝備配置、戰術反應與通訊能力。這些異質性的個體可依據自身條件與局部戰況做出自主行動。透過模擬，我們能觀察部隊如何從局部接戰逐步演變為包圍、撤退或其他戰術形勢，並分析個體之間的連鎖反應如何影響整體戰局。此方法不僅提升戰術預測能力，也協助指揮官比較各種策略下的潛在風險與效益。

此外，代理人模型在其他領域也展現出高度價值。例如，在社會科學中可用來模擬國家之間的貿易政策互動、外交結盟行為或社會運動的群體動員過程；在生物學中，可應用於探討動物遷徙與生態系統穩定性；而在傳染病學方面，代理人模型可模擬疾病在個體之間的傳播途徑，並用以評估隔離、疫苗接種、社交距離等公共衛生政策的成效。

總體而言，代理人基礎模型採取自下而上的建模策略（bottom-

[6] Railsback, Steven F., and Volker Grimm, *Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction*(Princeton, NJ: Princeton University Press, 2012), pp. 3-45.

up approach），強調個體之間的異質性與互動關係，提供一個連結微觀行為與宏觀結果的分析框架。透過此方法，我們得以深入理解複雜系統背後的多層次動態邏輯，對於應對不確定性極高的決策場域具有關鍵意義，並已成為當代計算社會科學與跨領域研究中的核心方法之一。

如上所述，代理人基礎模型的應用相當廣泛，因此，本文主要以該研究方方法作為模擬評估的工具。

肆、模擬場景設定

一、熱區（Hot Zone）、暖區（Warm Zone）與冷區（Cold Zone）的定義

如前所述，TCCC、TECC 與 EMT 三種人員類型，在戰場環境中的實踐場景與功能定位有所差異。因此，為確保模擬設計的一致性與操作性，對於熱區（Hot Zone）、暖區（Warm Zone）與冷區（Cold Zone）的區分與定義。本文統一採用 TCCC 所建立的分區標準，作為模擬與評估不同人員效益的分析依據。

根據 TCCC 框架（Butler et al., 1996；Montgomery et al., 2017），戰場可劃分為三個主要區域，依據敵方威脅程度與可實施之醫療行為進行界定：

（一）熱區（Hot Zone）

指持續遭受敵方火力威脅的高危險區域，如作戰現場或爆炸發生地點。此區對應 TCCC 中的「戰火下的救治（Care Under Fire）」階段，主要醫療行為為快速止血，例如使用止血帶與戰術撤離，目的在於減少醫護人員與傷患暴露於交戰現場下的風險。

（二）暖區（Warm Zone）

相較於熱區，暖區的敵方威脅已有所下降，屬於中度風險區域，例如防護後方或局部控制下的戰場空隙。此區對應 TCCC 的

「戰術現場救治（Tactical Field Care）」階段，允許執行完整的初級醫療評估與處置，例如 MARCH 算法：止血、氣道、呼吸、循環、低體溫與頭部傷害等相關救治。

（三）冷區（Cold Zone）

完全排除敵方威脅的安全區域，遠離交火現場，適合進行後送與進階醫療處置。此區對應 TCCC 的戰術後送救治（Tactical Evacuation Care）階段，常見的醫療行為包括靜脈輸液、止痛管理與醫療後送（Medical Evacuation，MEDEVAC）等相關協調事宜。

根據 TCCC 區域分類的基本原則，各類救護人員依其專業訓練與任務屬性，分別對應於不同區域，以發揮最大救援效益。本文據此設計兩種模擬方案進行比較：**方案 A** 將 TCCC、TECC 與 EMT 三類救護人員分別部署於熱區、暖區與冷區，依循任務分工執行戰場醫療行動；**方案 B** 則將所有救護人員統一配置於高風險的熱區，以模擬在區域界線模糊或全面交戰狀態下的醫療救援情境。

之所以採用方案 A 與方案 B 作為模擬評估的設計基礎，關鍵在於**實際戰場環境中常難以明確劃定區域邊界**。例如，當交戰地區無法完全排除敵軍火力威脅，或戰況變化迅速，導致暖區與冷區難以穩定建立時，TECC 與 EMT 人員的行動能力與救護效能即可能大幅受限，無法發揮其原預期之功能。相對而言，TCCC 人員具備在高風險環境下執行醫療任務的訓練與經驗，即使在形勢未明或敵情尚未排除的狀況下，仍可維持基本救治作業，展現其在極端條件中的戰術適應能力。

因此，本文透過「區域明確」（方案 A）與「區域模糊」（方案 B）兩種情境的模擬設計，進一步探討不同人員配置策略對戰場救護成效與傷患存活率之潛在影響。

二、模擬參數設定

本模型採用代理人基礎模型架構，將戰場上的各類角色抽象化為具備異質屬性的 turtle 代理人，並透過空間化區塊 (patches) 模擬熱區、暖區、冷區三類救援場域。模型整體參數與語法邏輯如下：

（一）全域變數（globals）

為記錄模擬過程中的關鍵指標，模型設有多項全域變數，例如 total-injured（總傷患人數）、survived（存活傷患人數）、與 scenario（模擬情境類型）。此外，為衡量不同配置策略對傷患存活率的影響，另設定 survival-rate-A 與 survival-rate-B 以比較方案 A 與方案 B 之效果。

（二）代理人屬性（turtles-own）

在代理人基礎模型中，每個 turtle 即代理人皆具備若干核心屬性，用以模擬其在戰場情境中的角色與狀態變化。其中，role 用以區別代理人身份，包括 「injured」（傷患）、「tccc」、「tecc」 與「emt」 等三種救援專業人員；「health」 表示健康值，其範圍介於 0 至 100，並會隨時間推移而遞減，以模擬傷患在未獲救治情況下的身體惡化而 injury-type 則代表傷勢的嚴重程度。戰場上的傷勢類別眾多，本文僅以四肢出血此傷勢作為模擬。並進一步區分為「extremity」（可存活的四肢出血）與 「non-survivable」（不可存活）兩種類型。透過上述屬性設計，可更真實地再現戰場醫療救援的差異化處置與救治成效。

（三）初始條件設定（setup）

在初始模擬情境中，系統會產生 100 名傷患人數，並根據機率分布將其隨機配置於熱區（60%）、暖區（20%）與冷區（20%）。各傷患初始健康值為隨機分配為 10–60，並有 25% 機率為可存活的

四肢出血（extremity）。另外，TCCC、TECC、EMT 等專業人員各配置 10 名，並依其專業所對應之區域分布。

（四）行為與效能參數設定（go）

在模擬情境中，若傷患未能及時接受醫療處置，其健康值將持續下降，以本文四肢出血傷者為例，每個模擬時間單位若未接受適當的醫療處置將會減少 2 點生命值，直至死亡為止。可以把想像成若四肢出血傷者健康值為 60，經過 3 秒尚未得到救治，其健康值會減損至 54。以此類推，若 30 秒後依舊未得到救治，其健康值為 0，代表該傷患死亡。

為評估不同救護人員於各區域中的實際效能，模型依據戰術醫療教範設定各類人員的治療能力：在熱區，由 TCCC 救護人員負責對四肢出血傷者進行止血處置，具備最高的醫療效能，能使傷患回復 30 點健康值；在暖區，由 TECC 人員提供次級穩定治療，可回復 20 點健康值；而在冷區，由 EMT 人員進行後送與初步照護，其治療效益為回復 15 點健康值。

若為方案 B，則所有救護人員集中於熱區，並依據其原本專業訓練進行救治作業，此一配置有助於評估在區域界線模糊或空間壓縮條件下，集中部署對救護成效與邊際效益的潛在影響

本文在此強調的是，上述數值的設定皆參考過去相關研究的數值。同時 globals、turtles-own、setup、go、health 等英文字為 NetLogo 5.3.1 版本環境下的語法設定。本文只是概略性地介紹運行語法框架，並未詳細列出所有 NetLogo 語法。

伍、模擬分析

在模擬情境中，總計配置 100 名四肢出血傷患，並平均分布於熱區、暖區與冷區，各區分別安置 33、33 與 34 人。此外，每個區域另行配置 10 名救護人員，分別為 TCCC、TECC 與 EMT，對應其

專業任務與行動區域進行救治。

一、 方案 A

圖 4-1 是根據 NetLogo 5.3.1 版本的模擬過程部分截圖。主要呈現第 0、7、9、11 次的模擬過程。第 0 次代表尚未模擬的初始狀態。藍色代表傷患，紅色代表 TCCC，黃色代表 TECC，綠色代表 EMT。救護人員同時遵守熱區、暖區與冷區原則並救治最靠近自己的傷患。

圖 4-2 呈現本研究模擬資料之視覺化結果，顯示 TCCC、TECC 與 EMT 三類救護人員在處置四肢出血傷患方面皆具一定之救治效能，存活率分別為 21.21%、12.12%與 20.59%。本研究設定之方案 A 係以戰爭情境為背景，並依據作戰實況明確劃分熱區、暖區與冷區，使各類救護人員能依其專業特性部署於最適合的區域，進而發揮最大醫療效益。然當戰場環境無法清晰界定各區域屬性時，救護人員之配置是否影響其整體醫療成效，即為方案 B 想要模擬與探討之重點。

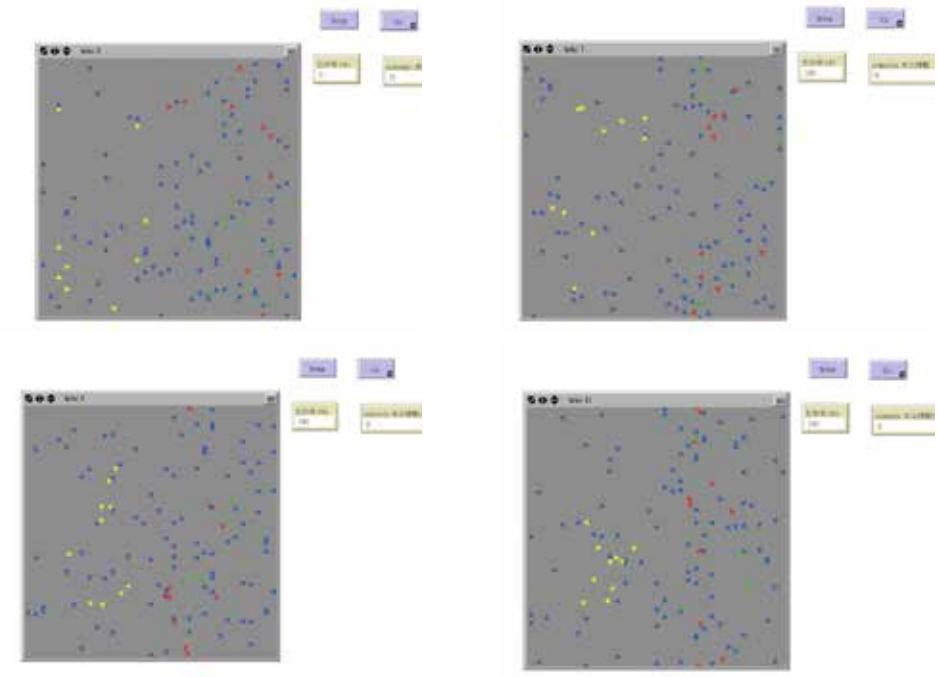


圖 4-1、方案 A 模擬過程

資料來源：作者根據 NetLogo 界面截圖。

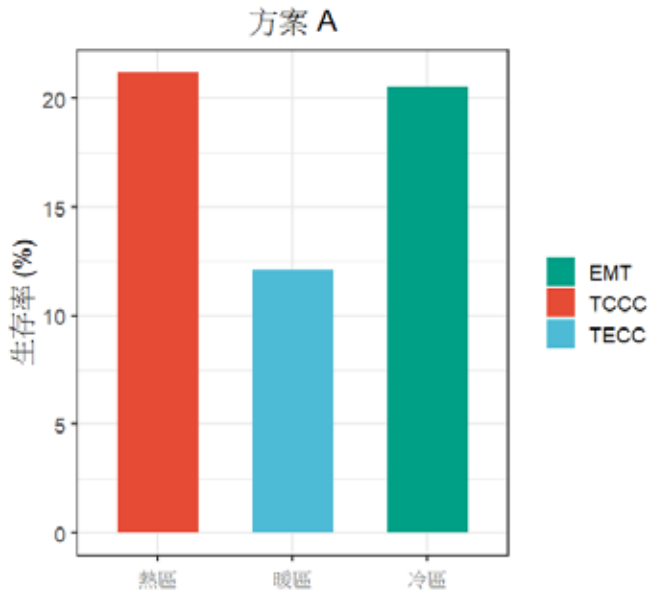


圖 4-2、方案 A

資料來源：作者根據模擬結果輸出資料。

二、 方案 B

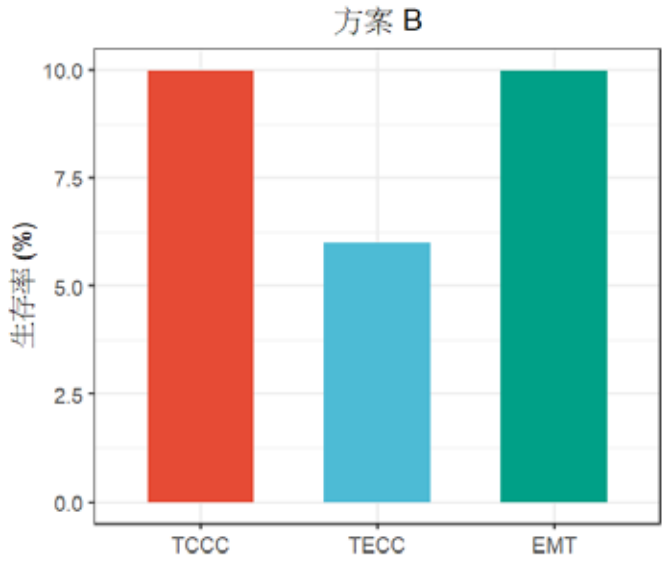


圖 4-3、方案 B

資料來源：作者根據模擬結果輸出資料。

在方案 B 中，模擬情境設定為整體區域皆屬於熱區，無法明確區分熱區、暖區與冷區。亦即，將 TCCC、TECC 與 EMT 三類救護

人員同時部署於熱區，評估其對四肢出血傷患的救治效能。

如圖 4-3 所示，三類救護人員在此高風險環境下的救治效果皆出現下降，其中 TCCC 與 EMT 的救治率下降幅度為 10%，TECC 則為 6%。本文推論，造成此現象的可能原因在於熱區敵軍火力較為密集，導致整體救治環境惡劣，進而影響人員之行動效率與醫療品質。

值得注意的是，儘管 EMT 的專業訓練與熱區任務配置原本與 TCCC 有所差異，其救治率在本模擬中卻與 TCCC 相當。本文認為，此現象可能與模擬設計僅針對四肢出血傷患進行評估有關。相對於其他更為複雜或危重的傷情，EMT 在處理此類單一類型傷患時，與 TCCC 間的效能差距可能縮小。相對而言，TECC 人員的救治效果甚至低於 EMT，顯示其在高度威脅環境下的表現更為受限。

此外，方案 A 與方案 B 在原始模擬設計中，並未納入敵軍火力強度的差異條件。為進一步檢驗高風險情境下各類型救護人員的效能，本文在既有方案 B 的架構上，調高敵軍火力強度並重新進行模擬。結果顯示，在敵軍火力強度提升的情境中，僅有 TCCC 救護人員對四肢出血傷患能發揮有效救治功能，整體生存率為 22%；相較之下，TECC 與 EMT 救護人員即使部署於熱區，亦無法對四肢出血傷患產生實質醫療效果。此結果進一步顯示，當作戰風險升高時，唯有具備戰術救護專業訓練之人員方能發揮關鍵效益。

陸、結語與建議

本文應用代理人基礎模型，評估 TCCC、TECC 與 EMT 三類救護人員在不同戰場配置情境下，對四肢出血傷患的醫療處置效果。模擬結果顯示，在方案 A 中，若能依據戰區特性，將 TCCC 人員部署於熱區、TECC 人員配置於暖區、EMT 人員分派至冷區，則各類人員皆能發揮其專業所長，提升整體救治成效。

然而，實際戰場局勢往往瞬息萬變，敵情與環境難以明確區分作戰區域。本文也以方案 B 模擬在無法有效區隔區域的情境下，將所有救護人員集中部署於熱區。模擬結果顯示，整體救治成效較方案 A 下降，尤以敵軍火力強度升高的情境下為甚。進一步模擬亦顯示，僅有 TCCC 救護人員在高風險熱區中仍具有效醫療效果，傷患生存率達 22%；相較之下，TECC 與 EMT 人員則因缺乏戰術救護專業訓練，無法在高強度敵火環境下發揮實質救治功能。

本文根據模擬結果提出幾項政策意涵。首先，TCCC 人員在高風險環境中的救治成效最為突出，因此國軍應持續強化相關訓練，並優先將其配置於前線熱區，以確保戰時能即時處置關鍵傷患。相較之下，TECC 與 EMT 人員在高強度戰鬥區域的效能雖然有限，但在區域劃分清楚的情況下，仍能在暖區與冷區發揮穩定支援的功能，特別是針對生命徵象相對穩定且需要後送的傷患，其角色不可或缺。進一步而言，模擬強調「因地制宜」的重要性，國防單位應依據地形條件、敵軍火力以及區域控制狀況，建構更具彈性的部署與調度機制，避免將訓練層級較低的醫療人員置於極端不利的位置。同時，應考量訓練成本與效益的平衡，尤其在 TCCC 訓練所需資源較高的情況下，不宜在短期內全面推動，而應依任務風險與部隊屬性進行差異化配置，既能維持前線戰力，又能確保整體醫療體系運作的彈性。整體而言，本研究顯示戰場醫療體系的設計應以「戰術風險導向」與「職能分工明確」為核心，並透過模擬與實證資料輔助決策，建立更具適應性與韌性的戰傷救護架構。

本文作者蔡承翰為美國克萊蒙研究大學政治經濟學博士。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助理研究員。主要研究領域為：國際政治經濟、衝突與和平、量化分析。

Applying Agent-Based Modeling to Whole-of-Society Defense Resilience

Cheng-Han Tsai

Institute for Cyber Security and Decision-Making Simulations

Abstract

This article employs Agent-Based Modeling (ABM) to analyze the contribution of battlefield medical systems—Tactical Combat Casualty Care (TCCC), Tactical Emergency Casualty Care (TECC), and Emergency Medical Technicians (EMT)—to Taiwan's whole-of-society defense resilience. In response to hybrid threats, Taiwan has integrated critical infrastructure, healthcare, and civilian preparedness into national defense exercises, notably the 2025 Han Kuang 41 drill. To evaluate medical effectiveness under combat conditions, two simulation scenarios were designed.

Scenario A assumes clearly divided hot, warm, and cold zones with differentiated deployment of TCCC, TECC, and EMT personnel. Scenario B assumes an indistinguishable high-risk environment where all responders are concentrated in the hot zone. Results show that scenario A enhances survival when personnel operate within their designated roles, while scenario B reduces overall effectiveness, particularly under intensified enemy fire. TCCC personnel consistently provide superior outcomes in high-risk zones, achieving survival rates of up to 22%, whereas TECC and EMT personnel exhibit diminished capacity under the same conditions. These findings underscore the importance of prioritizing TCCC training and deployment at the frontline, while preserving layered TECC and EMT functions in support and evacuation roles. The study demonstrates the value of ABM for testing deployment strategies and

highlights its policy relevance for building adaptive and resilient defense systems.

Keywords: Agent-Based Modeling, Whole-of-Society Defense Resilience, Han Kuang 41 drill

AI 人工智慧與現代戰爭：從烏克蘭前線到臺海潛在衝突的戰略啟示

杜長青

國防大學國際與國防事務學院

壹、前言

現代戰爭的格局正因科技的快速演進而經歷根本性的轉變，傳統武器和戰術已不足以應對當前的複雜挑戰，2022 年俄烏戰爭爆發後，烏克蘭在面臨彈藥和其他常規武器短缺的情況下，廣泛運用人工智慧（AI）、新興科技與武器載具對抗俄羅斯，有效發揮不對稱作戰能力，顯示新興技術和概念正在重塑戰爭的本質，雖然目前烏克蘭 AI 部署是局部性的，主要用於增強特定功能，而非實現系統的完全自主，但這場戰爭已經證明：AI 已從「增能」逐步走向「決定性」工具，使作戰型態的迭代加速，進而成為新的作戰應用典範。本文將由烏克蘭戰場的實際應用中汲取 AI 在現代軍事衝突中的關鍵角色，並分析中共與美國在國防 AI 領域的戰略部署與發展趨勢。最後，本文將聚焦於這些經驗對我國國防與軍事決策的戰略啟示，並提供相關的政策建議與參考。

貳、烏克蘭與其盟友在俄烏戰爭中的 AI 應用策略與成效

自 1956 年麥卡錫（John McCarthy）提出 AI 一詞，描述機器模仿人類認知與學習的能力，直至近年硬體運算能力大幅提升與大數據技術發展，歷經 1990 年代的「機器學習」（Machine Learning, ML）與 2012 年開始發展的「深度學習」（Deep Learning），使得 AI 技術透過高階晶片運算速度提升、演算法精進、巨量資料處理、運端技術等發展，AI 逐步可自動學習並不斷進行優化；簡單來說，

ML 被視為 AI 的一個子集，負責執行特定、可預測的任務並從數據中學習；[1]而 AI 則涵蓋了更廣泛的自主決策、推理和適應能力，能夠處理更複雜和需要「類人智慧」的任務。AI 與 ML 能力的結合被認為是實現技術突破的關鍵，其中 AI 提供更高層次的自主決策。

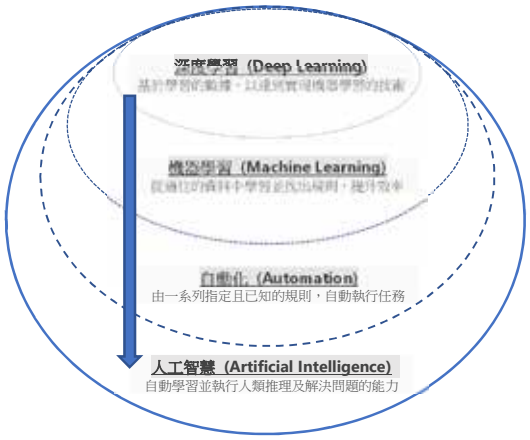


圖 5-1、人工智慧技術分類示意圖

資料來源：參考徐盛平一文內容繪製。〈運用人工智慧於水下軍事領域及未來發展芻議〉,《新新季刊》，第 53 卷第 3 期，2025 年 7 月，頁 121。

2022 年俄烏戰爭爆發後，這場戰爭被視為歷史上人工智慧（Artificial Intelligence, AI）技術應用最為廣泛的一場軍事衝突，儘管目前戰爭的性質尚未由 AI 決定，但這場衝突已成為一個巨大的「新興軍事科技實驗室」，讓相關國家和科技公司能夠不斷訓練和測試 AI 系統，促使了 AI 技術的驗證與推廣迭代加速，也對未來的戰爭型態產生深遠影響。在這場衝突中，烏克蘭及其盟友透過多層次、跨域的 AI 應用戰略，尤其是融合在多源情報蒐集分析、自動目標識別（ATR）的發展、兵棋推演模擬與作戰執行、新興技術的軍民融合與公私合作創新等方面，AI 的綜合運用顯著提升了戰場感知、決策效率與精確打擊能力，並對傳統戰爭模式產生深遠影響。

一、融合 ISR 多源情報蒐集分析輔助決策

[1] 徐盛平等，〈運用人工智慧於水下軍事領域及未來發展芻議〉,《新新季刊》，第 53 卷第 3 期，2025 年 7 月，頁 120-121。

橫互作戰全程，烏克蘭的 AI 應用得益於政府、私營部門以及西方盟友提供的技術和概念，展現了前所未有的情報融合能力，將商用衛星影像、無人機即時回傳資料、開源情報（OSINT）與社交媒體內容整合，並透過 AI 演算法進行自動化標註與態勢生成。在「**影像情報**」部分，烏克蘭國防部的復仇者（Avengers）團隊開發了一個AI輔助影像分析平台，透過標準化數據集和專業的小型AI模型，分析無人機影像，追蹤俄羅斯部隊動向；此外，烏克蘭 Reface 技術團隊研發一套 AI 影像辨識演算法，亦可即時分析衛星及無人機照片，結合神經網路自動判斷俄羅斯部隊的車輛、陣地、坦克與部隊聚集區，打造成可結合 AI 分析與訊息推送的作戰平台，並進一步與Maxar、Planet 等國際大廠合作，整合商業衛星即時資料供AI模組分析，[2]已向全球發送出超過 900 萬條訊息，其中 200 萬則發送給了俄羅斯用戶，其中均附上俄軍實際侵略烏克蘭的衛星與現場圖像，藉此提高全球對局勢的認識並鼓勵俄國民眾反戰。[3]對於「**聲學情報**」，Zvook 聲學偵察系統與 Respeecher 合作，利用 AI 分析聲學信號，利用卷積神經網絡（CNNs）和循環神經網絡（RNNs），結合頻譜分析來精準識別無人機、車輛和巡弋飛彈等獨特聲音信號，並能判斷聲源方向，將系統轉變為被動聲學雷達，在雷達效果不佳的低空區域檢測和識別空中威脅。在「**文本數據情報**」方面，Griselda 數據分析平台利用 NLP 自動分析非結構化數據，將截獲的俄羅斯通訊進行分析，所有情報都會整合到 Delta 態勢感知系統中，形成一個即時、全面的戰場圖像，供各級指揮官和戰鬥人員使用。[4]

---

[2] "The Ukrainian Company Reface Urgently Develops an Algorithm for Recognizing Enemy Troops," *DON'T TAKE FAKE*, February 27, 2022, https://donttakefake.com/en/the-ukrainian-company-reface-urgently-develops-an-algorithm-for-recognizing-enemy-troops/.

[3] Lomas, Natasha. "Reface, a Viral Face-Swap App from Ukraine, Adds Anti-War Push Notifications," *TechCrunch*, February 27, 2022, https://techcrunch.com/2022/02/27/reface-a-viral-face-swap-app-from-ukraine-adds-anti-war-push-notifications/.

[4] Kateryna Bondar, "Ukraine's Future Vision and Current Capabilities for Waging AI-Enabled Autonomous Warfare," *CSIS*, March 2025, pp. 16-17, https://www.csis.org/analysis/ukraines-future-vision-and-current-capabilities-waging-ai-enabled-autonomous-warfare.

其次，西方盟國如美國的 Palantir、Planet Labs、BlackSky Technology、Maxar Technologies 等公司也生產衝突地區的衛星圖像並與烏克蘭數據分享，運用神經網路將衛星、網路開源情報（OSINT）以及無人機偵察資訊，經 AI 模型自動化處理整合多種遙測資料，以機器學習演算法快速標註潛在目標並輸出火力座標，將情報獲取到決策下達時間縮短至數分鐘，從而產生戰略和戰術情報優勢。[5]以 Palantir Gotham（高譚）平台為例[6]，該平台結合 AI 影像識別與自然語言處理，建立「情報偵察-決策下達」一體化的數據整合與分析平台，平台運用「軍事決策程序」（Military Decision-Making Process, MDMP），內建的數位兵棋推演模組（與 LG-RAID 軟體功能類似）能基於最新態勢數據，透過 AI 模擬並比較多種行動方案（COA），幫助指揮官評估敵我分布、地形與後勤支援需求，從而選擇最佳方案並動態更新預案；此外，Palantir Gotham 能匯聚無人機影像、商業衛星資料（例如 Planet Labs、Maxar）、開源情報及前線回報，並由 AI 模型自動識別與標定建築、車輛與兵力目標，將座標與作戰影像同步推送至各級指揮官和一線部隊[7]，將 AI 數位「擊殺鏈」（Kill-Chain）的流程由目標發現、追蹤、鎖定到執行攻擊縮短僅需數分鐘。[8]簡單來說，藉由導入 AI，實現了流程自動化。AI 協助建立本體圖譜，實現跨海量資料集的模式識別和語意關聯，這些圖譜使分析師能夠發現人類無法手動識別的見解，而烏克

[5] Pardo de Santayana, José, "Artificial Intelligence and the War in Ukraine," *Ministerio de Defensa de España*, p. 11, 2024, https://www.defensa.gob.es/documents/2073105/2278118/la_inteligencia_artificial_y_la_guerra_de_ucrania_2024_dieeea81_eng.pdf.

[6] Palantir 公司最著名的成功案例包括利用大數據技術在 2011 年協助美軍成功擊斃拉登，其 Palantir Gotham 平台介紹影片亦以「臺灣遭受中國封鎖」為假設情境進行功能 DEMO，影片中除了提及即時衛星資料之外，美國、日本、台灣也有分享軍事偵測數據給 Gotham，強調民主同盟國家透過整合性 ISR 應對共同威脅的重要性。詳見 https://www.youtube.com/watch?v=rxKghrZU5w8&ab_channel=Palantir。

[7] Bergengruen, Vera. "Tech Companies Turned Ukraine Into an AI War Lab," *TIME*, February 8, 2024, Accessed August 31, 2025, https://time.com/6691662/ai-ukraine-war-palantir/.

[8] Maçães, Bruno. "How Palantir Is Shaping the Future of Warfare," *TIME*, July 10, 2023, Accessed August 31, 2025, https://time.com/6293398/palantir-future-of-warfare-ukraine/.

蘭軍方正積極發展人工智慧即時多感測器融合技術，以增強態勢感知能力。

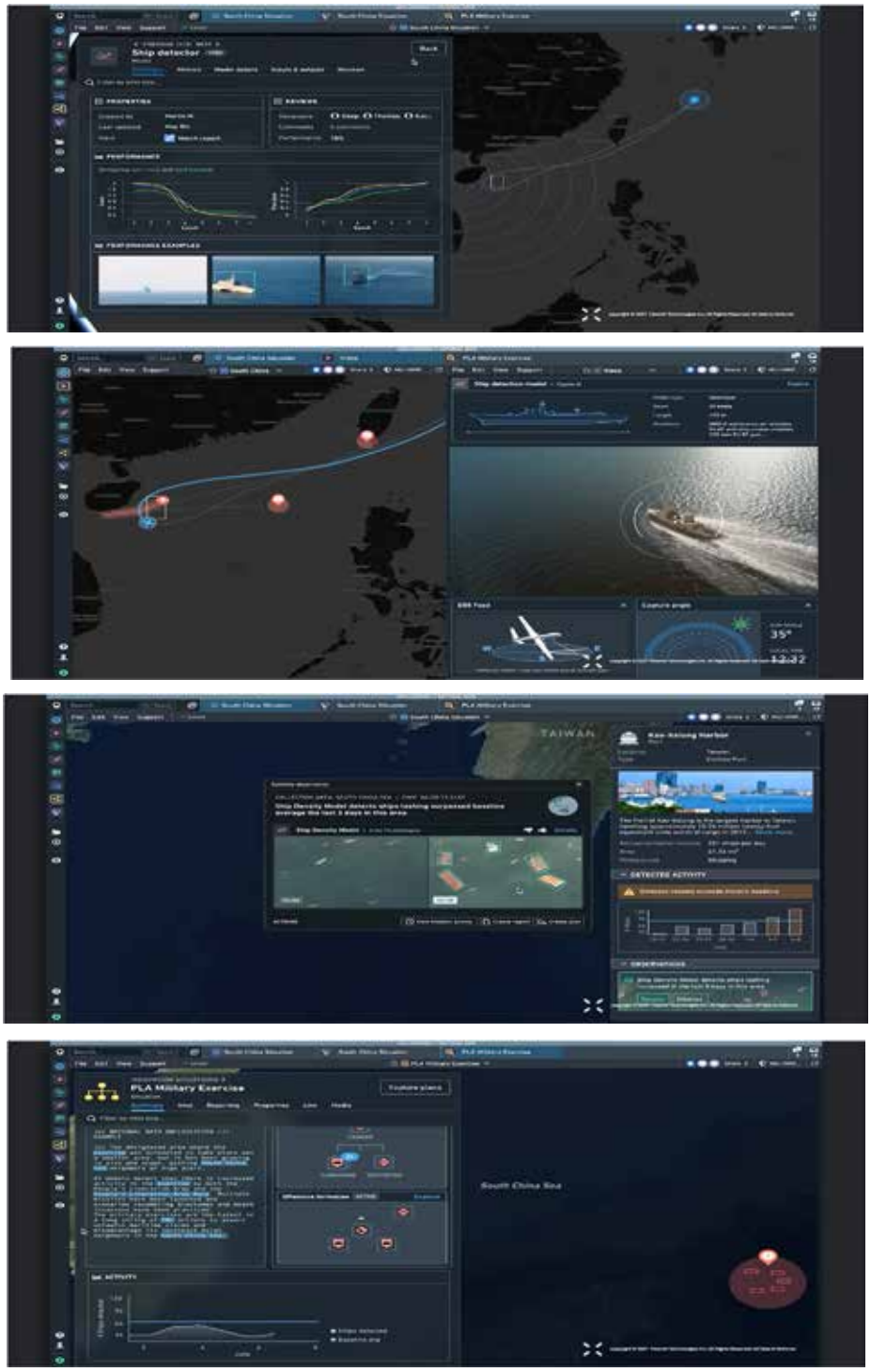


圖 5-2、 Palantir Gotham 的防衛決策介面展示
（以臺海遭封鎖為例）

資料來源：*Palantir Gotham*，https://www.youtube.com/watch?v=rxKghrZU5w8&ab_channel=Palantir。

表 5-1、烏克蘭融合 ISR 多源情報蒐集分析輔助決策重點摘要表

功能	主要步驟	使用工具／系統	關鍵成效
多源情報蒐集	1、衛星影像、無人機、聲學、文本、OSINT 資料蒐集	Maxar、Planet Labs、UAV、Zvook、Griselda	日處理數十 TB 資料；建立統一戰場圖像
AI 自動化處理	1、數據標註與預處理 2、CNN／RNN 目標識別 3、建立本體圖譜	Avengers 標註平台、Reface 演算法、AI 本體圖譜技術	90%+目標識別精度；自動化模式關聯
決策支援生成	1、態勢圖像生成 2、COA 方案模擬 3、分析評分排序	Palantir Gotham、MDMP 推演模組、VEZHA、Monitor	決策時間從數小時縮短至數分鐘；方案選擇速度提升 4 倍
精確打擊執行	1、數位擊殺鍊流程壓縮 2、無人機／火砲協同打擊	HIMARS、FPV 無人機、Rhombus AI 核導預警	70–80%打擊成功率；誤射率降至 5%
軍民融合創新	1、私企技術整合 2、戰場測試與加快回饋迭代 3、快速採購	Palantir、Clearview AI、Helsing 無人機、AWS 雲端、DIU Project GI	技術驗證週期縮短至 24 小時；全球發送 900 萬條預警訊息

資料來源：作者運用生成 AI Perplexity 協助文本內容摘要彙整製表。

二、強化自動目標識別（ATR）精準打擊能力

由於俄烏戰況持續膠著慘烈，烏軍無人機及其操作員面臨的挑戰包括俄軍持續進化的電子戰（EW）干擾以及誘餌及偽裝，以及低能見度或複雜場景下的作戰。而自動目標識別（ATR）是 AI 在俄烏戰場上提升精準打擊能力的一個核心應用。它讓無人系統能夠自動

偵測、分類和追蹤目標，大幅減少對人類操作員的依賴，AI 能夠自動區分各種地形和天氣條件下的車輛、人員和建築物，從而有效識別誘餌和偽裝目標；此外，AI 不僅能偵測，還能根據威脅等級、與友軍的距離和任務目標等即時變數，快速地優先排序多個目標。

烏克蘭的軍工企業正在積極部署和測試這些 AI 驅動的 ATR 技術。例如，ZIR 系統開發了一套自主套件，這是一個軟硬體模組，可集成到幾乎任何類型的打擊無人機中。其 AI 驅動軟體能夠自動偵測目標，並在 1 公里外鎖定目標，即使在強烈的電子干擾環境中，也能在 3 公里範圍內自主運行，打擊精度約為 90 公分，甚至能精準打擊時速高達 64 公里／小時的移動目標。[9] ZIR 系統還利用開源的 ArduPilot 自主導航，並能在沒有 GPS 的情況下透過光學導航運行，這些具備自主導航功能的無人機可將目標打擊成功率從約 10%至 20%提高到約 70%至 80%。

另一個例子是 Skydio 的 X10D 無人機，此行無人機具有複雜的深度學習檢測系統，能夠抵抗干擾並在 GPS 拒止環境下導航，其熱像儀甚至能偵測目標車輛是否曾經發動過。這些無人機的控制系統已經納入到烏克蘭的數位化戰場態勢感知平台 Delta 系統中，用於戰術 ISR 任務，偵測、追蹤和打擊敵方高價值目標。由此可見，烏克蘭將 AI 導入 ATR 方面的應用，使烏克蘭無人系統的打擊精準度與效率快速提升，北約（NATO）成員國家已針對引進該系統進行戰場管理進行洽談。[10]驗證小國透過創新 AI 應用，能在不對稱作戰中獲得技術優勢，甚至向西方盟友輸出先進概念。

---

[9] Kateryna Bondar, "Ukraine's Future Vision and Current Capabilities for Waging AI-Enabled Autonomous Warfare," *CSIS*, March 2025, p. 24, https://www.csis.org/analysis/ukraines-future-vision-and-current-capabilities-waging-ai-enabled-autonomous-warfare.

[10] Delta 系統是烏克蘭國防部創新與國防科技發展中心在戰火中開發的數位化態勢感知平台，此平台具有許多模組，烏克蘭前線部隊用它來通訊、通報友軍與高層指揮部協同作戰；另外，其中的「任務控制」(Mission Control)模組，可有效串聯無人機操作員與上級指揮部，可分配責任區域、規劃機組航線，並協調無人機(UAV)任務與電子作戰、防空單位的行動。〈實戰驗證 烏克蘭 Delta 戰情系統獲北約國家洽購〉，《自由時報》，2025 年 5 月 1 日，https://def.ltn.com.tw/article/breakingnews/5029315。

圖 5-3、烏克蘭軍方指揮部運用 Delta 系統監控戰場態勢

資料來源：《自由時報》，2025 年 5 月 1 日，https://def.ltn.com.tw/article/breakingnews/5029315。

三、AI 賦能的兵棋推演模擬與作戰執行

人工智慧在兵棋推演和軍事模擬中的應用，為未來戰略規劃和決策優化提供了前所未有的能力。AI 系統能夠在短時間內模擬數千種可能威脅的想定情境（Scenarios），並評估篩選出最可能發生的未來走向，這與傳統兵棋推演耗時且結果有限的情況大相徑庭，[11]此功能在應對複雜現代挑戰和提升決策週期速度方面至關重要。烏克蘭及其盟友在俄烏戰爭中，積極採用 AI 驅動的兵棋推演平台，將傳統以人工為主的規劃過程轉化為高度自動化、數據驅動的決策支持系統。這些平台結合即時戰場數據、歷史作戰經驗與多層次模擬，能在短時間內生成多個行動方針（Courses of Action, COA），並透過演算法預測敵方行動模式，顯著縮短決策週期並提升方案的可行性。前文提到的 LG-RAID 軟體（Palantir 公司所開發）就是一個例

[11]〈AI 兵推／一晚模擬萬種情境預測軟體藏數十億美元商機〉，《聯合報》，2025 年 7 月 20 日，https://vip.udn.com/vip/story/121937/8883125。

證，該軟體建置龐大資料庫，內含各種作戰法規準則、裝備數據、戰鬥指數和物理條件可以進行作戰行動方案（COA）比較，跨各種任務指揮系統（例如 AFATDS、JADOCS、TAIS、JOPES 等等）協調執行任務。此外，烏克蘭與北約合作的兵推演練，已將 AI 模組嵌入「多域作戰」模擬環境，涵蓋陸、海、空、網路與電磁頻譜等層面。這些模擬不僅用於戰術層級的行動測試，更延伸至戰略層級的資源配置與聯合作戰規劃，並與即時 ISR(Intelligence, Surveillance, Reconnaissance)資料串接，使兵推結果能回饋至實際作戰決策。

AI 在戰場的應用實踐上，烏克蘭在面臨俄羅斯兵力數量優勢的挑戰下，發展出革命性的 DELTA 戰場管理系統，DELTA 系統已在基輔保衛戰、黑海艦隊打擊、蛇島解放等關鍵戰役中經過實戰檢驗。該系統不僅是情報系統，更是整合 AI 驅動兵棋推演的決策支援平台，能夠在數秒內處理衛星影像、無人機影片、開源情報等多源數據，生成實時戰場態勢圖並提出最佳行動方案建議。DELTA 的核心優勢在於整合了多項關鍵功能，其中包括：Deltamonitor：動態數位地圖提供友軍和敵軍位置的即時視覺化，對於戰術決策至關重要；安全通訊：內建加密聊天確保單位和指揮結構之間的安全資訊流。Vezha 平台：整合無人機的即時視訊來源，並結合戰場視訊分析功能；Target Hub：可簡化火力任務的規劃和執行，讓部隊直接在數位地圖上建立、分配和共享目標；Mission Control 模組：此附加模組可進行作戰區域分配、路線規劃以及無人機任務與電子戰（EW）/防空 （AD）任務之間的協調。[12]此外，烏克蘭自 2014 年開始發展的 Kropyva 和 GIS Arta 系統，被戲稱「砲兵 Uber」，運用 AI 優化砲兵火力分配與協調，這些系統能將多個雷達、無人機與感測器數據

[12] "Ukraine's Battle-Forged Delta System Catches NATO Eye, Export Talks Underway for Advanced Situational Awareness Platform," *TechUkraine*, April 30, 2025, https://techukraine.org/2025/04/30/ukraines-battle-forged-delta-system-catches-nato-eye-export-talks-underway-for-advanced-situational-awareness-platform/.

整合，運用機器學習演算法計算俄軍位置並即時分享給砲兵單位，將傳統火力支援協調時間從數小時縮短至數分鐘，展現小國如何透過 AI 技術實現不對稱優勢。[13]

表 5-2、 AI 賦能的兵棋推演模擬與作戰執行重點摘要表

功能	主要步驟	使用工具/系統	關鍵成效
AI 兵棋推演模擬	1、情境生成與威脅想定 2、多域作戰環境建模 3、COA 方案比較評估	LG-RAID 軟體、NATO 兵推模組、AFATDS、JADOCS、TAIS、JOPES 系統	一晚模擬數千種情境；決策週期大幅縮短；方案可行性顯著提升
實時決策支援生成	1、多源數據即時處理 2、戰場態勢圖生成 3、最佳方案自動推薦	DELTA 戰場管理系統、Deltamonitor 動態地圖、Vezha 影像平台	數秒內生成實時態勢圖；通過基輔保衛戰等關鍵戰役實戰檢驗
火力協調執行	1、目標規劃與分配 2、砲兵火力優化協調 3、無人機任務同步	Target Hub 火力任務系統、Kropyva「砲兵 Uber」、GIS Arta 系統	火力支援協調時間從數小時縮短至數分鐘；實現不對稱優勢
作戰區域管控	1、路線規劃與區域分配 2、EW/AD 任務協調 3、安全通訊保障	Mission Control 模組、加密聊天系統、電子戰防空協調平台	任務協調效率大幅提升；確保指揮鏈安全暢通
聯合作戰整合	1、陸海空網電多域融合 2、NATO 標準化對接 3、即時 ISR 反饋	多域作戰模擬環境、NATO 互操作系統、ISR 數據串接平台	戰術至戰略全層級覆蓋；獲 NATO 成員國採購意向

資料來源：作者運用生成 AI Perplexity 協助文本內容摘要彙整製表。

四、AI 技術的軍民融合與公私合作創新

現代戰爭對科技創新的需求日益迫切，單靠政府或軍方內部研發已難以跟上技術發展的腳步。俄烏戰爭凸顯了 AI 技術軍民融合的重要性，透過與私營部門的深度合作，加速將商業 AI 創新應用於軍事領域。烏克蘭在戰爭中受益於與西方科技企業的合作。2019 年，烏克蘭成立數位轉型部，以促進公共部門的自動化和數位化，並於

[13] Anna Nadibaidze, "Do AI Decision Support Systems Support Humans in Military Decision-Making on the Use of Force?" *Opinio Juris*, November 11, 2024, https://opiniojuris.org/2024/11/29/do-ai-decision-support-systems-support-humans-in-military-decision-making-on-the-use-of-force/.

2020 年在其內部成立了人工智慧發展專家委員會；2023 年，專家委員會發布了修訂後的人工智慧發展重點，其中包括用於國產無人系統的人工智慧，以實現自主導航（不依賴 GPS）、任務選擇、資訊收集以及武器檢測和識別，烏克蘭政府與私人基金會之間的戰略夥伴關係為烏克蘭提供該領域的戰場優勢。[14]

烏克蘭數位轉型部（Ministry of Digital Transformation）使用亞馬遜的雲端儲存技術(AWS)來保存關鍵資料，並與 Clearview AI 公司合作，與臉書（Facebook）、推特（Twitter）等社交媒體上的用戶照片進行比對，藉以找出陣亡俄軍真實身份並通知其家屬領取遺體；[15]德國國防科技公司 Helsing 的 AI 無人機和軟體也大規模供應烏克蘭軍隊，協助其進行偵察和精確打擊。[16]這種混合防禦模型透過私營企業的參與和合作，不僅提升了效率和經濟可行性，更引入了市場競爭帶來的創新動力，減輕了政府部門的負擔。

此外，烏克蘭不僅在技術上進行創新，亦不斷尋求國際合作和資金支持，以因應前線不斷變化的戰爭需求，烏克蘭學習美國的「國防先進研究計畫署」（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）、「國防安全加速器」（Defense and Security Accelerator, Dasa）機制，[17]設立「數位戰爭創新基金」（Ukraine Innovation Fund, UIF）吸引國際創投及民間公司參與，為 AI 初創企業提供資金與前線測試機會。2023 年烏克蘭政府啟動了

---

[14] Howie Su，〈高科技戰爭時代來臨：烏克蘭國防 AI 的軍事應用〉，《INSIDE》，2025 年 1 月 11 日，https://www.inside.com.tw/article/37262-ukraine-ai-warfare。

[15] 張凱銘，〈俄烏戰爭中人工智慧科技之應用態勢及其戰略意涵〉，《歐亞研究》，第 23 期，2023 年 4 月，頁 16。

[16] 方聿安、林秀英，〈科技重塑戰爭格局－國防科技政策趨勢與國防科技新星解析（下）〉，《台灣新創資訊平台 FINDIT》，2025 年 5 月 21 日，https://findit.org.tw/Res/2443。

[17] DARPA 比較著名的研發成效包括「標槍」（JAVELIN）反戰車飛彈、世界上首架匿蹤戰機 F-117 的前身「擁藍計畫」，還有徹底改變人類生活的網際網路(INTERNET)前身 ARPENET(先進研究計畫署網路)、無人機等劃時代軍事科技，甚至連人工智慧 AI 技術，DARPA 早在 1980 年代中期就投入研發。而我國國防部亦於 2024 年仿造設立「先進國防事務辦公室」（Defense Innovation Unit, DIU）。郭宏章，〈【一文看懂】現實中的「神盾局」--解析美國國防先進研究計畫署(DARPA)，《YAHOO 新聞》，2024 年 5 月 12 日，https://is.gd/ksXMvw。

「Brave1」專案，旨在支持本土國防科技創新，吸引了 50 多家開發商和製造商參與，項目包含開發適應無 GPS 環境的無人機及其操作軟體、無線電訊號監控、戰場通訊加密等技術，其中 9 個專案已按照北約標準進行了編碼，並在國際間爭取訂單。[18]而歐盟委員會與烏克蘭於 2025 年 7 月 11 日共同宣布了「勇敢科技歐盟」(BraveTech EU)倡議，以烏克蘭久經戰場考驗的創新技術為基礎，透過更緊密的合作增強歐盟和烏克蘭的國防實力，並深化與烏克蘭國防工業的融合。[19]自 2022 年俄烏戰爭爆發以來，烏克蘭展示了將突破性創新轉化為作戰能力的能力，並將其國防產量提高了 35 倍，並在快速的創新體系中建立了一個由國防公司、政府機構及民間企業與組織整合的完整生態系統，具備快速發展和戰場部署的能力，可提供友盟國家學習借鑒。[20]

參、中共從俄烏戰爭的 AI 經驗教訓與發展革新

俄烏戰爭被視為一場前所未有的 AI 應用「實驗室」，各國和相關公司持續訓練與測試 AI 系統的各種能力，而這場衝突正在加速無人系統和 AI 的發展與應用，這些技術不僅改變了戰爭的性質，也可能成為決定未來衝突結果的關鍵。中共將烏克蘭戰爭視為其未來軍事優勢競爭的關鍵參考，特別是在 AI 技術領域，根據研究指出，俄羅斯向中共提供有關其在這場戰爭中，尤其是 AI 領域的專業知識的作戰訊息，而中國則與俄羅斯合作開發高科技軍事裝備。儘管美國

[18] 陳成良，〈電子戰力挺前線！烏克蘭新創公司掀起科技抗俄風暴〉，《自由時報軍武頻道》，2024 年 6 月 11 日。https://def.ltn.com.tw/article/breakingnews/4701617。

[19] “Press release, Joint press release: EU and Ukraine to Boost Battlefield-driven Solutions with BraveTech EU,” *EU Comission*, July 11, 2025. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_1794.

[20] 此模式的另一個成功例證，為以色列國防部與國有軍工企業拉斐爾 Rafael Advanced Defense Systems 以及新創科技公司共同研發的鐵穹防禦系統 Iron Dome；而美國國防創新單位（Defense Innovation Unit, DIU）推出的「雷霆鍛鍊」（Thunderforge）專案，則計畫將大型語言模型(Large Language Models, LLM)、代理人兵推（Agent-Based Wargaming）與高擬真建模模擬整合，能夠在戰區級規劃中快速生成多種 COA，並對敵可能行動進行預測與評估。

科技公司在全球 AI 領域佔據主導地位，但中共也透過巨額國防預算和對數據霸權的追求，積極發展軍事 AI。[21]

然而，烏克蘭戰爭也讓中共汲取了重要教訓，將其視為學習經驗、優化自身作戰能力的重要機會，並以此作為應對中美競爭、區域衝突及未來對台作戰準備的基礎，[22]並積極與俄羅斯深化雙邊合作，共同開發代號為「劍」（Sword）的兩棲作戰自動化指揮控制（C2）系統，該系統包括指揮參謀車輛、通信設備、野戰指揮所、兩棲突擊車輛的軟硬體系統，確保戰術與作戰層級的安全數據傳輸與協調。顯現中俄在 AI 軍事技術領域的合作不斷深化，俄羅斯為中共提供作戰經驗，而中國則協助俄羅斯發展自身的 AI 能力。[23]值得一提的是，AI 的影響除了傳統的軍事領域之外，中共認為爭奪制腦權的「認知戰」亦被認為是未來智能化混合戰爭中的另一個重要領域。[24]這些特殊的見解讓西方國家更嚴謹審視評估中共對非物理手段的重視程度。

一、中共國家 AI 戰略發展與智能化作戰趨勢

解放軍自 1993 年起將「聯合作戰」視為「基本作戰形式」，並在 2004 年修改為「一體化聯合作戰」。習近平在 2015 年推動的結構性改革建立了現代化的聯合指揮體系，例如設立戰區以下永久性聯合指揮結構，以改善前線部隊的聯合作戰能力，此次俄烏戰爭中

---

[21] José Pardo de Santayana, “Artificial Intelligence and the War in Ukraine,” Analysis Document 81/2024, *Spanish Ministry of Defence*, December 17, 2024. https://www.defensa.gob.es/documents/2073105/2278118/la_inteligencia_artificial_y_la_guerra_de_ucrania_2024_dieeea81_eng.pdf.

[22] Benedetta Girardi、Davis Ellison、Tim Sweijs, “China Watches, Taiwan Learns: Ukraine’s War and the Indo-Pacific,” *The Diplomat*, March 18, 2025, https://thediplomat.com/2025/03/china-watches-taiwan-learns-ukraines-war-and-the-indo-pacific/.

[23] Institute for the Study of War, “Russian Force Generation and Technological Adaptations,” *Understanding War*, August 25, 2025, https://www.understandingwar.org/backgrounder/russian-force-generation-and-technological-adaptations-update-august-25-2025.

[24] 李明海，〈认知域正成为未来智能化混合战争主战场〉，《環球時報》，2022 年 3 月 17 日，https://opinion.huanqiu.com/article/47DoZ45dMzV。

俄羅斯軍事行動陷入泥沼，凸顯了戰場環境的快速變化。[25]為了強化解放軍整體作戰能力，中共已將 AI 應用於軍事上稱為「智能化作戰」，並納入其「十四五規劃」與「2035 願景」等國家長期發展戰略，其重要目標即是在資訊與覺知方面獲得超越敵人的決定性優勢。中共學者提出應利用 AI 進行「認知對抗」與「算法博弈」，強調在未來戰爭中掌握算法優勢的一方，能快速準確預測戰場態勢，創新最佳作戰方法，實現「未戰而先勝」的目標。[26]中國共產黨已明確表達了主導未來科技的願望。中共中央政治局於 2025 年 4 月舉辦的「第二十次集體學習」中，領導人習近平將人工智慧描述為「**引領新一輪科技革命和產業變革的策略性技術**」，要求建構自主可控、協同運作的人工智慧基礎軟硬體系統，全面推動人工智慧科技創新、產業發展與賦權應用，牢牢掌握人工智慧發展與治理主動權。[27]

中共觀察到 AI 在情報分析、精確打擊和戰場監測等方面所展現的巨大價值，這種新型態戰爭將「突破傳統時空認知的極限，重構人與武器裝備的關係」。解放軍官媒《解放軍報》於 2024 年 8 月發表了一篇關於大型生成式人工智慧模型在作戰指揮控制中應用的文章，認為雖然大型模型（LLM）依賴最新的情報資訊來分析研判戰場態勢、組織整合情報產品，以及連結和挖掘情報知識，但有利於情報簡報與重心分析，可快速預測戰場態勢變化，提升軍事訓練效益，並鼓勵內部使用 AI 解決問題。[28]根據研究指出，解放軍和中國

---

[25] Tye Graham and P.W. Singer, "How China is adopting battlefield lessons from Ukraine," *Defense One*, December 11, 2024, https://www.defenseone.com/ideas/2024/12/how-china-adopting-battlefield-lessons-ukraine/401694/.

[26] 陳彥名，〈淺談運用「人工智慧」(AI) 協助戰場環境情報整備〉，《海軍學術雙月刊》，第 59 卷第 2 期，2025 年，頁 136。

[27] 〈堅持自立自強突顯應用導向推動人工智慧健康有序發展〉，《人民網》，2025 年 4 月 27 日，http://politics.people.com.cn/n1/2025/0427/c1024-40468778.html。

[28] "Artificial Eyes: Generative AI and China's Military Intelligence," Recorded Future, August 28, 2024, https://www.recordedfuture.com/research/artificial-eyes-generative-ai-chinas-military-intelligence.

國防工業很可能使用了國內外開發商的專有和開源大型語言模型（LLM）來創建基於生成式人工智慧的智慧工具。國外使用的 LLM 可能包括 Meta、OpenAI 和 BigScience 等公司的模型，而國內使用的 LLM 可能包括 DeepSeek、清華大學、智浦 AI 和阿里雲等公司的模型；2024 年 12 月，中國國有國防工業研究所在專利申請中提出使用開源情報（OSINT）、人力情報（HUMINT）、信號情報（SIGINT）、地理空間情報（GEOINT）與技術情報（TECHINT）數據來訓練軍事大語言模型，顯示目前軍事大語言模型已經能夠支援情報週期的各個階段，並逐步落實到演訓及作戰應用之中。[29]

在中共國家政策的指導與推廣下，中共民間部門及私人企業各類型的 AI 輔助決策產品大量開發問世。例如，淵亭科技推出的「天機」產品，將大量軍事術語常識、數位戰場圖譜、戰術戰鬥準則與法令規章、戰例演訓紀錄等進行訓練，可提供戰場圖譜、軍事智能雲腦、戰略博奕分析，甚至號稱可以進行群體認知分析、認知作戰對抗生成與效能評估等功能，另外，亦針對俄烏戰爭開發《戰例分析系統：全方位剖析俄烏衝突》，內建大量俄烏衝突的戰例圖譜，經過大型語言模型（LLM）處理後轉成所需的訓練資料，系統性分析俄烏衝突各類重要情報資訊；[30]攝星智能（StarSee）公司則強調其「人工智慧賦能」（AI-enabled）軍事決策輔助系統，可以即時提供「共同作戰圖像」，並快速生成多種「作戰方案」，協助戰場指揮官進行決策。[31]

---

[29] 同前註。

[30] 〈大模型评估白皮书〉，《淵亭科技官網》，https://www.utenet.com/evaluation-tool。

[31] 陳彥名，〈淺談運用「人工智慧」(AI) 協助戰場環境情報整備〉，《海軍學術雙月刊》，第 59 卷第 2 期，2025 年，頁 134。

表 5-3、中共國家 AI 戰略發展與智能化作戰趨勢重點摘要表

類別	重點摘要	使用工具／系統	關鍵成效
國家戰略規劃	1、智能化作戰納入十四五規劃 2、2035 願景戰略布局 3、聯合指揮體系現代化	戰區聯合指揮結構、一體化聯合作戰體系、國家長期發展戰略框架	建立現代化聯合指揮體系；智能化作戰成為國家戰略重點
認知算法博弈	1、認知對抗理論發展 2、算法優勢競爭 3、戰場態勢預測	認知作戰對抗系統、算法博弈分析平台、戰場態勢預測模型	實現「未戰而先勝」目標；獲得決定性資訊覺知優勢
軍事大語言模型（LLM）應用	1、多源情報數據訓練 2、戰場態勢分析研判 3、情報產品整合生成	DeepSeek、Meta、OpenAI 模型、清華／智浦／阿里雲 LLM、軍事專利申請	支援 OSINT／HUMINT／SIGINT／GEOINT 全情報週期
民間 AI 應用軟體發展	1、軍事決策輔助開發 2、戰例分析系統 3、認知作戰生成	淵亭科技「天機」、攝星智能 StarSee、俄烏戰例分析系統	戰場圖譜智能雲腦；群體認知分析；共同作戰圖像即時生成
軍民融合推廣	1、政策指導產業發展 2、私企技術軍用轉化 3、自主可控體系建構	中共政治局集體學習機制、軍民融合發展戰略、自主 AI 軟硬體系統	掌握 AI 發展與治理主動權；建構協同運作基礎軟硬體系統

資料來源：作者運用生成 AI Perplexity 協助文本內容摘要彙整製表。

二、AI 在模式模擬與兵棋推演中的應用

中共高度關注 AI 在兵棋推演與模式模擬中的應用，視其為提升軍事決策能力的重要途徑。電腦兵棋推演具有高擬真度與可擴展性，是模擬與重現真實作戰場景的最佳工具。AI 能夠在一晚內模擬成千上萬種情境，並選出最有可能發生的未來，這與傳統兵推截然不同。這項能力對於縮短「觀察、調整、決策與行動」（Observe, Orient, Decide, Act, OODA loop）迴圈的時間，提升決策精準度與效能，並針對敵方下一步作出預測，提供最佳戰術選擇的建議至關重要。[32]中共深刻體認 AI 在兵棋推演與決策支援系統的革命性潛力，

[32] 謝沛學，〈從下棋到作戰：人工智慧在電腦兵棋的運用及其挑戰〉，《戰略與評估》第 11 卷第 2 期，2021 年，https://indsr.org.tw/respublicationcon?uid=14&resid=842&pid=1181&typeid=3。

積極發展「先知 1.0」（Xianzhi 1.0）AI 兵推系統；此外，解放軍國防科技大學還開發了「戰顱」（War Skull）兵棋推演系統，其第二代於 2020 年推出，可用於指揮、控制和管理作戰行動的系統，在戰場上提供實時的信息共用能力，並多次應用於解放軍重大聯合演習。而號稱中國版 C4ISR 系統「千手觀音」，則以電腦網路為核心，整合了指揮、管制、通信、情報、偵察、預警功能對部隊和武器系統實施自動化指揮的作戰系統。[33]解放軍戰略支援部隊（SSF）則發展 AI 指揮決策系統包括「天機」雲端決策大腦、「天網」實時情報儲存庫與「天劍」自主作戰平台，據傳能處理多源數據融合、預測分析與實時戰場適應形成完整的 AI 軍事生態系統。[34]

在中共中央及省、市、區政府數十年的政策支持，由杭州幻方量化對沖基金旗下人工智慧公司 High-Flyer 於 2005 年推出 R1 推理模型 DeepSeek，官方即大力推廣該模型，並將其廣泛整合到官方及民營單位服務中。在軍事模擬與兵棋推演領域，中國研究團隊已將 DeepSeek 應用於實際軍事場景生成，透過訓練大規模數據集構建「多維戰場知識圖譜」，自主生成地理環境、兵力部署、事件邏輯與作戰策略， 最快在一分鐘內可創建 10,000 個戰鬥場景。[35]此外，中共解放軍中央戰區總醫院宣布授權「嵌入式部署」DeepSeek 的 R1-70B 大語言模型，為軍醫提供治療方案建議；解放軍南京國防動員辦公室也發布了一份使用 DeepSeek 協助制定緊急疏散計畫和其他非戰鬥相關任務的手冊，武警部隊也開始使用 DeepSeek 系統，未來

---

[33] 〈解放軍在南海戰勝美軍的法寶〉，《Yahoo 奇摩新聞》，2025 年 4 月 20 日，https://pse.is/83sl2v。

[34] Red Dragon 1949. “AI Integrated into Chinese Armed Forces: PLA Strategic Support Force Developed Artificial Intelligence Innovation Capabilities,” *Red Dragon 1949*, May 10, 2024, https://reddragon1949.com/chinese-military-informatization/ai-integrated-into-chinese-armed-forces-pla-strategic-support-force-developed-artificial-intelligence-innovation-capabilities/.

[35] South China Morning Post, “Chinese Team Taps DeepSeek AI for Military Battle Simulation,” *South China Morning Post*, August 15, 2025, https://www.scmp.com/news/china/military/article/3310707/chinese-team-taps-deepseek-ai-military-battle-simulation.

更可能運用 DeepSeek 來指揮作戰，這些趨勢顯現中共積極運用 AI 在軍事智能化進程中發揮著越來越重要的作用。[36]而俄烏戰爭的 AI 應用經驗，更促使中共加速相關技術推廣運用到軍民企業之中。

肆、俄烏戰爭 AI 的應用對美國國防的戰略啟示

俄烏戰爭的經驗，凸顯了美國傳統軍事採購體系的侷限性，促使五角大樓建立新的快速創新機制，國防創新部（DIU）推出的 Project GI 計畫旨在將前線洞察嵌入到設計、測試與部署的持續循環中，這是刻意模仿烏克蘭軍隊透過快速部署與迭代無人機技術來超越俄軍創新的努力，以取代傳統需歷經數年才能通過並取得裝備的大型採購計畫。[37]這樣的經驗讓美國決定加速 AI 創新。美國國家安全委員會（NSCAI）強調，投資 AI 於兵棋推演有助於增強全領域感知、提高決策速度和品質、提供新穎的行動方案建議，並能更快地反制敵方行動，這種能力可以協助軍事規劃者在部署大規模軍力之前，預先測試各種戰略和戰術的有效性，降低實戰風險。[38]美國戰略與國際問題研究中心（CSIS）曾透過危機兵推 Corcyra 模擬核子大國之間的競爭與博弈，發現 AI 在情報蒐集和處理方面提供具體幫助，有效輔助決策者制定更為周延的安全政策。[39]近年，美軍積極嘗試將生成式 AI（GenAI）整合到軍事決策支援系統中。

其中，美國陸軍於 2025 年 3 月啟動「小企業創新研究計畫」（Small Business Innovation Research, SBIR）的「情境感知決策支援

---

[36] Foundation for Defense of Democracies, “China’s Military Reportedly Deploys DeepSeek AI for Non-Combat Duties,” *FDD*, March 27, 2025, https://www.fdd.org/analysis/policy_briefs/2025/03/27/chinas-military-reportedly-deploys-deepseek-ai-for-non-combat-duties/.

[37] DefenseScoop, “Ukraine Drone Attack on Russia’s Strategic Bombers Offers Lessons for US Army,” *DefenseScoop*, June 2, 2025, http://defensescoop.com/2025/06/02/ukraine-drone-attack-russia-strategic-bombers-lessons-us-army/.

[38] Black, Scotty, and Christian Darken, “Scaling Artificial Intelligence for Digital Wargaming in Support of Decision-making,” *arXiv preprint arXiv:2402.06075*, 2024, p. 4.

[39]〈CSIS 发布《算法稳定性：人工智能如何塑造威慑的未来》〉，《安全内参》，2024 年 9 月 21 日，https://www.secrss.com/articles/70474?app=1。

系統」計畫項目，[40]旨在提出建構基於生成式 AI（GenAI）的智慧決策支援系統——即時數據融合+動態情境建模+人機協同決策，來整合和匯總即時數據，可增強軍事規劃效率，為戰場指揮官構建即時、智能化的決策支援系統；其中決策支援系統的關鍵技術，在於制定軍事行動方針演算法（COA-GPT）與 AI 輔助情報分析員態勢報告產生技術（SmartBook）。在實際的軍事場景測試中，美軍計畫透露將透過上下文學習將《美國陸軍野戰手冊》（*United States Army Field Manuals*）中的戰術原則（如包圍、滲透、機動防禦）編碼至模型提示，確保方案符合軍事邏輯，運用兼容文本指令和圖像情報的「制定軍事行動方針演算法」（COA-GPT），指揮官可通過自然語言指令（如「優先壓制敵方防空單位」）迭代優化行動方案（COA)），系統在 2-5 秒內生成初始 COA，比傳統方法縮短 99%的時間，極大地提升了作戰規劃的效率。[41]

此外，如同前面分析所提到，俄烏戰爭大量運用的無人飛行載具，在實戰中驗證其戰術與戰鬥層次攻擊與情監偵（ISR）的重要角色，強化了弱小國家的不對稱作戰韌性。[42]根據統計，自 2022 年 2 月以來，烏克蘭引進了 200 多套自主研發的無人機系統和 40 多個地面機器人平台。這些新系統大多於 2024 年投入使用；其中烏克蘭於 2024 年生產超過 200 萬架的無人機，其中 96.2%用於烏克蘭武裝部隊，這些無人機每架成本（包括彈頭）可能低至 500 美元或更少，

[40] 美國小型企業創新研究計畫（SBIR）由國會於 1982 年設立，以政府資金推進民間科技創新，並推進科技成果的產業化，激勵創業帶動增加就業，促進經濟發展。而美國陸軍的 SBIR 計畫的使命在於促進陸軍、技術整合商和小型企業創新者之間的合作。Daniel Smoot, “Army SBIR/STTR Unveils $250K AI/ML Decision Support Funding Opportunity,” *U.S. Army*, March 19, 2025, https://www.army.mil/article/283863/army_sbirsttr_unveils_250k_aiml_decision_support_funding_opportunity.

[41] 羅添斌，〈《獨家》中科院與美 Anduril 公司簽合作備忘錄 引進無人載具、AI 指管技術〉，《自由時報》，2025 年 7 月 13 日，https://def.ltn.com.tw/article/breakingnews/5127012。

[42] 中央社，〈路透：俄烏戰爭、台海潛在衝突加速無人機與 AI 發展〉，《中央社》，2024 年 12 月 13 日，https://www.cna.com.tw/news/aopl/202412130363.aspx。

彈頭載有炸藥用於撞擊目標，[43]雖然破壞力有限，但對大部隊進攻與裝甲單位行動卻造成極大的嚇阻作用。美國智庫「新美國安全中心」（Center for a New American Security, CNAS）分析指出，無人機對戰爭的改變仍是漸進式而非革命式，無人機的大量運用，使俄烏雙方集中兵力、突襲及實施進攻行動都變得困難，但這些優勢僅僅是局部的，因為雙方都在快節奏地進行創新及競爭循環中，為了提高影響力，俄烏雙方都在開發運用人工智慧（AI）系統的無人機，可以 AI 自動識別並鎖定目標，無須擔心訊號受干擾。[44]

為了因應未來變局，美軍認為，要真正發揮人工智慧代理系統在軍事領域的戰略潛力，必須推動下列幾層面的深度變革，且每一項都攸關未來戰力競爭的主導權。內容提到：[45]

一、基礎設施的升級必須加速進行

隨著 AI 應用從戰略規劃延伸至戰術執行，現有的運算資源已難以滿足多層級部隊即時資料處理與決策需求。唯有大幅投資高效能運算平台與分散式資料架構，才能確保 AI 技術在前線與後勤體系中發揮最大效益，並支撐未來聯合作戰的數據流通與智能協同。

二、資安與電子防護的重要性日益凸顯。

AI 系統一旦成為多域作戰的核心，便同時成為敵方滲透與攻擊的首要目標。美軍必須建立多層次、動態調適的防禦機制，從資料傳輸、模型訓練到決策輸出，全面防堵潛在漏洞。只有如此，才能確保 AI 驅動的作戰流程在面對複雜電磁與網路威脅時，依然維持高度韌性與可靠性。美軍經由觀察俄烏衝突的經驗，了解到包括雲端

---

[43] Center for Strategic and International Studies (CSIS), *Ukraine's Future Vision and Current Capabilities: Waging AI-Enabled Autonomous Warfare*, 2025, https://www.csis.org/analysis/ukraines-future-vision-and-current-capabilities-waging-ai-enabled-autonomous-warfare#h2-ai-in-intelligence-surveillance-and-reconnaissance.

[44] 舒孝煌，〈俄烏戰場 FPV 無人機作戰效益及反制〉，《國防安全即時評析》，2024 年 9 月 13 日，https://indsr.org.tw/focus?typeid=24&uid=11&pid=2722。

[45] 國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心，〈一場顛覆拿破崙式指揮的革命，AI 正在重塑軍事指揮結構〉，《iKnow 知識平台》，2024 年 4 月 18 日，https://iknow.stpi.niar.org.tw/post/Read.aspx?PostID=22175。

遷移的重要性、衛星通訊中斷的影響、強化對抗敵方電子戰能力的關鍵技術、因應虛假訊息與認知作戰的偵測技術，以及人們在武裝衝突期間向世界述說故事的能力，這些都必須仰賴 AI 來加速成效的提升。[46]

三、軍事教育體系的革新是一切的核心。

美軍認為傳統的軍官訓練已無法因應 AI 時代的需求。未來的軍事領導者不僅要能熟練操作 AI 工具，更要具備理解、設計甚至優化 AI 系統的能力。這意味著，軍事院校必須將課堂轉化為結合理論、實作與跨域協作的實驗場域，讓學員在真實數據與模擬環境中，培養出面對未來戰場的創新思維與技術素養。而美國白宮於 2025 年 7 月公布的《AI 行動計畫》（*AI Action Plan*）中，提出重新設計軍事院校課程的構想，強調未來軍官需具備「戰術戰略思維」以及「數據科學與 AI」相關領域知識的跨域整合能力，強化此類教育才能真正肆應未來快速的作戰場景。[47]

四、顛覆國防採購框架限制加速軍民融合與 AI 應用創新

2025 年 7 月 14 日，美國國防部亦對外宣布與四家主要 AI 公司-Anthropic、Google、OpenAI 及 XAI，簽訂為期兩年的開放式合作協議，每家協議金額上限為 2 億美元，此為美國國防部史上最大規模的 AI 軍民融合計畫。此種合作採用「OTA -其他交易協議」（Prototype Other Transaction Agreement）形式，可避開傳統聯邦政府採購流程的繁瑣，讓民間創新技術能快速導入國防應用，根據具體國防任務需求，量身打造整體的「智慧代理工作流程」(agentic AI workflows)，應用範圍涵蓋軍事決策支援、情報分析整合、後勤暨行

[46] GovCIO Media & Research, "Pentagon's Unclassified Cyber Strategy Is Influenced by Russia-Ukraine War, China," *GovCIO Media & Research*, March 18, 2025, https://govciomedia.com/pentagons-unclassified-cyber-strategy-is-influenced-by-russia-ukraine-war-china/.

[47] 美國於 2025 年 7 月發布的《AI 行動計畫》，主要圍繞 AI 創新、強化 AI 基礎設施以及在國際 AI 外交與安全方面發揮領導作用等三大層面。*America's AI Action Plan* (Washington, DC: The White House), July 2025, https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2025/07/Americas-AI-Action-Plan.pdf.

政、程序自動化等多面向；[48]與此同時，美國國防部亦採用多廠商競爭策略，而非單一供應商模式，避免技術依賴與被壟斷風險，獲得最佳 AI 解決方案。由上可知，美軍 OTA 打破舊有框架，將先進商業技術快速轉化為實際作戰能力，以確保美國在全球 AI 軍事競爭中的技術領導地位。

表 5-4、俄烏戰爭 AI 的應用對美國國防的戰略啟示趨勢重點摘要表

面向	重要概念	計畫／系統名稱	關鍵成效
快速創新機制改革	1、傳統採購體系變革 2、前線洞察持續循環 3、快速部署迭代測試	國防創新部 DIU Project GI 計畫、SBIR 小企業創新研究計畫、與民間 AI 公司-Anthropic、Google、OpenAI 及 XAI 採用「OTA-其他交易協議」(Prototype Other Transaction Agreement)模式	簡化冗長政府採購流程；實現快速技術迭代；模仿烏克蘭創新模式
生成式 AI 決策支援	1、即時數據融合建模 2、自然語言 COA 生成 3、軍事手冊編碼整合	COA-GPT 演算法、SmartBook 智能分析、美國陸軍野戰手冊 AI 編碼	2-5 秒生成 COA 方案；比傳統方法快 99%；大幅提升作戰規劃效率
無人機不對稱作戰	1、低成本大規模部署 2、AI 自主識別鎖定 3、 抗電子戰干擾	FPV 無人機集群、AI 目標識別系統、抗干擾導航技術	單機成本 500 美元；2024 年生產 200 萬架；96.2%軍用比例
基礎設施升級革新	1、高效能運算平台 2、分散式資料架構 3、前線後勤 AI 協同	多層級即時資料處理系統、聯合作戰數據流通平台	支撐多域作戰智能協同；滿足戰術執行即時決策需求
軍事教育體系改革	1、跨域整合課程設計 2、理論實作實驗場域 3、戰術戰略+數據科學	2025 年 AI 行動計畫、軍事院校課程重設、跨域協作教學	培養 AI 時代軍事領導者；具備設計優化 AI 系統能力

資料來源：作者運用生成 AI Perplexity 協助文本內容摘要彙整製表。

[48]〈美國陸軍智能化軍事決策支持系統的探索〉，《安全內參》，2025 年 5 月 13 日，https://www.secrss.com/articles/78690。

伍、結語及肆應未來台海潛在衝突的 AI 戰略啟示

綜合烏俄戰爭的經驗，以及歐美與中共在 AI 軍事應用上的發展趨勢，我國應當認識到 AI 在現代戰爭中不僅是技術工具，更是重塑戰略格局和決策優勢的關鍵。美國於今年 7 月公布的《AI 行動計畫》（*America's AI Action Plan*），這份計畫不僅是一份美國的產業政策，更是一場「全球 AI 治理與技術標準主導權之爭」，顯現 AI 的應用已從戰場攻防、情報分析延伸至決策輔助，展現其全面性的價值，我國政府亦宣示，未來將透過成立國家主權基金、建置最先進設備的 AI 試製線、促進國際技術合作與標準制定等三大推動方向，從「製造力」到「治理力」的角色積極升級，為台灣未來經濟發展開創更寬廣、具前瞻性的道路，以因應快速變化的局勢。根據上述的分析，本文以下提供數點政策參考建議。

一、 深化軍民科技融合與創新

由前文的分析可以得知，中共近年已經將 AI 發展列為未來國家戰略發展目標。面對中共對我持續的軍事威脅，我國近年持續擴大國防支出，積極引導民間科技新創投入國防產業鏈，建立起「政府引導、民間主導、軍方應用」的良性循環；我國政府已於 2025 年 8 月宣布 2026 年國防預算將達到 GDP 的 3.32%，總額約 949.5 億新台幣，年增幅達 22.9%。[49]此外，目前持續推動的「五大信賴產業」，將關注包括半導體、人工智慧、國防、安控監控、新世代通訊與 AI 領域的發展，2026 年投入預算達新台幣 287 億。[50]在軍民科技融合部分，我國國防部借鏡美國 DIU 的模式，於 2024 年 2 月宣布成立「國防創新小組」，專注於創新概念發展、戰力需求確認、整合軍民科技，讓軍方結合民間新創的研發量能，強化國防戰力國防應用，目

[49] "DEFENSE/Taiwan Defense Spending to Reach 3.32% of GDP in 2026: Premier," *Focus Taiwan*, August 21, 2025, https://focustaiwan.tw/politics/202508210007.

[50] Chung Li-hua and Esme Yeh, "Five Industry' Budget Unchanged," *Taipei Times*, September 30, 2025, https://www.taipeitimes.com/News/taiwan/archives/2025/09/30/2003844660.

前專注於無人機、反無人機、AI 目標辨識、自主導航及指管輔助等關鍵領域的開發。而擔任國防科技研發與生產製造角色的中科院，亦於日前宣布已與美國國防新創公司 Anduril 簽署合作備忘錄（MOU），計畫引進「Lattice 開放式 AI 指管智慧決策平台」、「無人載具」等技術，[51]這類在政策誘因鼓勵下，國防產業鏈與民間新創公司的技術合作，將可加速 AI 新創科技的落地應用期程，強化國防戰力。

二、打造自主 AI 算力與知識庫

目前我國已發展 TAIDE 大型語言模型(LLM)等自主 AI 算力，對於確保在潛在衝突中資訊系統的韌性至關重要。由於目前國開發的 AI 語言模型（如 Perplexity, ChatGPT, Gemini, Claude, Copilot 等，更遑論中共 Deepseek）都存在一定的資安風險，為確保國家安全，我國應在自主 AI 研發上投入更多資源，並結合軍事領域的數據特點，建立專屬的軍事知識圖譜，這不僅有助於優化作戰策略、培育軍事人才，也能在資訊戰中有效辨識和反制虛假訊息，強化認知作戰能力。[52]

三、提升情資分析與危機決策的 AI 應用

AI 在情報蒐集、處理、分析和分發方面的效率提升有其優勢，俄烏戰爭經驗可以得知，運用 AI 技術整合多源異構數據（如衛星影像、社群媒體、雷達訊號等）可提升戰場感知效能。未來我國應持續鼓勵投入開發基於 AI 的預警系統，預測共軍各項軍事活動（如戰備警巡、航艦動態）和戰術意圖；同時，應加強對 AI 系統的信任度

[51] 美國新創公司 Anduril 所研發的 AI 平台「Lattice」，最初應用於美國邊境安全，例如美國海關與邊境保護局(CBP)部署的 Sentry 感測器塔，結合雷達和光學感測器，透過 AI 實現目標的自主偵測與追蹤，並利用 AI 進行分析與決策。此平台據稱具備模組化微服務架構和邊緣運算能力，可整合各類軍事裝備（如無人機、雷達、飛彈系統及作戰載台）等，實現聯合全域指揮管制能力，使戰力部署智慧化與自動化。羅添斌，〈《獨家》中科院與美 Anduril 公司簽合作備忘錄 引進無人載具、 AI 指管技術〉，《自由時報》，2025 年 7 月 13 日，https://def.ltn.com.tw/article/breakingnews/5127012。

[52] 〈一種軍事裝備的知識圖譜構建方法〉，《Google Patents》，https://patents.google.com/patent/CN111309925A/zh。

與可解釋性研究，確保指揮官在依賴 AI 輔助決策時，能充分理解其判斷邏輯，避免因技術盲點或數據偏見導致的誤判風險。

四、強化網路安全與防範 AI 濫用

烏俄戰爭中針對衛星通信公司的網路攻擊案例，凸顯了技術依賴可能衍生的脆弱性問題。[53]我國在積極推動 AI 防務應用的同時，必須同步加強對資安防護技術開發的投入，建立多級安全架構和反欺騙模組，以應對來自敵對勢力的 AI 幻覺和對抗樣本攻擊。同時，應強化 AI 在製造和散播深偽（Deepfake）假訊息方面的偵測能力，並發展相應的反制工具，持續強化全民防衛韌性。

五、國際合作與戰略聯盟

鑑於 AI 軍事技術的快速發展和潛在風險，台灣應與民主同盟國家建立長期、彈性的 AI 科技合作框架。這包括在 AI 技術標準、安全協議、軍控對話以及聯合實驗與訓練方面的合作。例如，參與民主友盟國家多邊兵棋推演與模式模擬，測試 AI 在不同衝突情境下的表現，並與盟友共同探索人機協同決策的最佳實踐。這種合作不僅能提升台灣的國防實力，也能為全球 AI 軍事治理提供經驗，共同應對 AI 武器化帶來的倫理與安全挑戰。[54]

綜上，AI 的賦能已成為現代戰爭技術迭代更新的重要關鍵因素之一，我國必須以更為積極、開放、敏捷的心態擁抱這項技術，持續整合並落實到國防戰略中。透過強化軍民融合、發展自主 AI 算力、提升情資分析能力、加強網路安全，並深化國際合作，方能有效提升不對稱戰力，確保在未來可能發生的衝突中，擁有足夠的韌性與自主能力，維護國家安全與區域穩定。

---

[53] 張凱銘，〈俄烏戰爭中人工智慧科技之應用態勢及其戰略意涵〉。《歐亞研究》，第 23 期，2023 年 4 月，頁 13-15，https://gioip.nchu.edu.tw/File/Userfiles/0000000033/files/歐 23-B1-張凱銘.pdf。

[54] Michal Onderco, “Navigating the AI Frontier: Insights from the Ukraine Conflict for NATO’s Governance Role in Military AI,” *Journal of Strategic Studies* 48, no. 3, 2025, pp. 602-626, https://doi.org/10.1080/01402390.2025.2463451.

附表 俄烏戰爭期間烏克蘭運用 AI 產品/軟體彙整表

項次	AI 產品名稱	提供公司/機構	主要功能	具體成效
1	Palantir Gotham	Palantir Technologies	多源情報融合、AI 影像識別、數位兵棋推演、決策支援	負責烏克蘭大部分目標定位，將偵察到打擊時間縮短至數分鐘
2	MetaConstellation	Palantir Technologies	商業衛星數據整合、即時態勢圖、COA 模擬	支援雲端衛星編排，實現快速任務規劃與彈藥協調
3	Delta 系統	烏克蘭國防部/Avengers 團隊	ISR 多源情報整合、VEZHA 實時影像分析、作戰態勢地圖	每日處理數十 TB 資料，前線指揮官可手機端獲得敵軍位置與動態
4	Avengers 平台	烏克蘭國防部/志工協力	影像標註、標準化數據集、AI 模型驗證、事件優先排序	建立「通用軍事數據集」，提升 AI 目標識別精度達 90%以上
5	WISDOM	NATO M&S 卓越中心	數位疊加兵棋推演、COA 多方	用於北約與烏克蘭聯合演練，提高方案選擇速度與決策

			案比較、風險威脅評估	信心
6	MASA SWORD Defense	MASA Group	自動化兵棋推演、營至旅級 COA 演練、決策數據可視化	支援烏軍多個指揮官訓練，揭示預期外關鍵事件並優化方案
7	ePPO App	烏克蘭民防部／Diia app	群眾外洩警示、彈道軌跡 AI 預測、個人化防空警報	累積 60 萬次下載、20 萬個活躍用戶，2-7 秒內可將警報推送至用戶
8	Zvook	Respeecher & 烏科技部	AI 聲學偵察、目標定位、被動聲納網格	覆蓋 20,000 km²，12 秒內偵測、1.6%誤報率
9	Reface 通知應用程式	Reface.ai	衛星／UAV 影像 AI 識別俄軍、神經網路自動判斷、反戰訊息推送	向全球發送 900 萬條警示，其中 200 萬至俄用戶，提升反戰輿論
10	Clearview AI	Clearview AI	臉部辨識、身份確認、戰犯追蹤、死者鑑定	已識別 23 萬俄軍人員，支援戰爭罪證蒐集

11	Primer AI	Primer.ai	自然語言處理、俄軍無線電通訊 AI 分析、敵情預測	自動篩選通訊數千小時，生成威脅報告並整合至 Delta 系統
12	Rhombus Power AI	Rhombus Systems	核導移動預警、RF 干擾分析	幫助 USSTRATCOM 預警俄核導移動，增強戰略遏制
13	Microsoft Azure AI	Microsoft	AI 威脅情報、網路防護、雲端安全	AI 驅動的威脅偵測與快速更新雲端防禦，挫敗多起網攻
14	FPV Drone Swarms ATR	烏克蘭多家公司	自動目標識別、最後一公里導航、彈道模擬	成本低廉約 500 美元
15	Griselda	Oleksiy Teplukhin 新創	AI 文本分析、群組聊天與通訊轉錄、關聯式知識圖	處理量減少 99%人力，即時生成情報圖譜並整合至 Delta

資料來源：作者統整自 José Pardo de Santayana, “Artificial intelligence and the war in Ukraine,” *Artificial intelligence in geopolitics and conflicts*, December 17, 2024, https://www.defensa.gob.es/documents/2073105/2278118/la_inteligencia_artificial_y_la_guerra_de_ucrania_2024_dieeea81_eng.pdf; Vera

Bergengruen; “How Tech Giants Turned Ukraine Into an AI War Lab,” *Time*, February 8, 2024, https://time.com/6691662/ai-ukraine-war-palantir/; Kateryna Bondar, “Ukraine’s Future Vision and Current Capabilities for Waging AI-Enabled Autonomous Warfare,” *CSIS*, March 6, 2025, https://www.csis.org/analysis/ukraines-future-vision-and-current-capabilities-waging-ai-enabled-autonomous-warfare#h2-ai-in-intelligence-surveillance-and-reconnaissance。

AI and Modern Warfare: Strategic Implications from the Ukrainian Frontlines to a Potential Taiwan Strait Conflict

Chang-Ching Tu

Institute for Strategic Studies, College of International and National Defense Affairs

National Defense University

Abstract

The landscape of modern warfare is undergoing a fundamental transformation driven by the rapid evolution of technology, rendering traditional weapons and tactics insufficient to meet contemporary complex challenges. Following the outbreak of the Russo-Ukrainian War in 2022, Ukraine, while facing shortages of ammunition and conventional weaponry, has extensively employed Artificial Intelligence (AI), emerging technologies, and novel weapon platforms to counter Russia, effectively leveraging its asymmetric warfare capabilities. This demonstrates that new technologies and concepts are reshaping the nature of warfare. Although Ukraine's current AI deployment is localized and primarily serves to enhance specific functions rather than achieve full system autonomy, the conflict has already proven that AI is transitioning from an "enabling" to a "decisive" tool. This shift is accelerating the iteration of operational patterns, thereby establishing a new paradigm for combat applications. This paper will draw from the practical applications on the Ukrainian battlefield to examine the critical role of AI in modern military conflicts and to analyze the strategic deployments and developmental trends of China and the United States in the domain of defense AI. Finally, this paper

will focus on the strategic implications of these experiences for our nation's defense and military decision-making, providing relevant policy recommendations and references.
Keywords: AI Applications, Russo-Ukrainian War, Wargaming, Simulation Modeling, Military Decision-Making

大數據分析在現代作戰中的應用

李虹欣

國防大學國防管理學院運籌管理學系

壹、前言

隨著資訊科技的飛速發展，大數據（Big Data；亦稱作巨量資料）分析在全球各領域的應用日益廣泛，特別是在軍事領域，這項技術已被視為提升作戰效能和決策精確度的關鍵工具。它能夠處理龐大的數據量，從中提取有價值的資訊，為軍事指揮官提供即時且精準的決策支持。[1]

現代戰爭中，資訊和數據已成為與傳統武器同等重要的戰略資源，若國家處於複雜地緣政治環境的地區，將可能面臨多種潛在威脅。由於地理位置的敏感性及鄰近強國的軍事壓力，必須強化國防能力，特別是在情報蒐集、態勢感知及快速反應能力方面。而數據技術的應用在這些領域提供了關鍵支援。

透過衛星影像結合開放資料（Open Data）進行數據挖掘，我們能夠更精確地監控區域內的軍事動態，從而提前制定戰略部署，做到未雨綢繆。國際戰略研究所（International Institute for Strategic Studies，IISS）是一個專注於國際關係和國防議題的英國智庫，是全球重要的國際安全研究機構。[2]根據該機構的報告，隨著各國對數據技術在國防領域的重視，全球在數據技術和人工智慧（Artificial Intelligence, AI）上的軍事支出逐年增加。

特別是在偵察、情報分析、戰場管理和網路戰等領域，數據分

[1] Naeem Alasmri and Sarah Basahel, "Linking Artificial Intelligence Use to Improved Decision-Making," *Individual and Organizational Outcomes*, International Business Research, August 30, 2022, Vol.15, No.10, p. 1, https://ccsenet.org/journal/index.php/ibr/article/view/0/47695.

[2] Gilad Amitai, Eyal Pecht, and Asher Tishler, "Intelligence, Cyberspace, and National Security," *Defence and Peace Economics*, July 18, 2020, Vol.32, No.1, pp. 18-45, https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10242694.2020.1778966.

析已成為不可或缺的工具。[3]美國、中國和俄羅斯等主要軍事大國為在未來的戰爭中保持技術優勢，紛紛加大這些領域的投資。此外，數據技術的應用不僅限於情報蒐集與分析，還包括後勤管理、戰場醫療、資源分配及心理戰等多方面。[4]這些技術的綜合應用，將能提升軍隊的運作效率和戰鬥力。本文旨在探討數據分析在軍事領域的未來應用，分段討論各個其對軍事決策和行動的潛在影響因子，期能為國軍未來有關大數據作業與戰略規劃等領域整合之運用建議。

貳、大數據技術概述

數位經濟時代，數據已成最具價值的資產之一，更被譽為「21 世紀的石油和鑽石礦」。 根據 Statista（2024）數據，截至 2023 年底，全球數據產量已突破 120 澗字節（ZB），預計至 2025 年將達 181 ZB（請參註 3）。此一趨勢顯示，數據量正以年均成長率 23%以上加速擴增。[5]澗字節（ZB）是一種極大容量的數據單位，1 澗字節等於 10 的 21 次方字節（約 1 兆 GB）。[6]舉例來說，1 澗字節的數據相當於 2500 億張 DVD 的存儲容量。如果將這些 DVD 疊加起來，可以形成一座高達 3000 萬公里的塔，相當於地球到月球距離的 80 倍。二十年前，全球數據量僅約 2 艾字節（Exabytes, EB），1 艾字節等於 10 的 18 次方字節。這意味著

在短短二十年間，全球數據量增長了近 3 萬倍。這樣的數據增長速度和規模，顯示了數據在當今社會和經濟中的重要性和潛力。

---

[3] Gordon B. “Skip” Davis Jr., “The Future of NATO C4ISR: Assessment and Recommendations after Madrid,” *Atlantic Council*, March 16 2023, https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/report/the-future-of-nato-c4isr-assessment-and-recommendations-after-madrid/.

[4] “The Spy War: How the C.I.A. Secretly Helps Ukraine Fight Putin,” *The New York Times*, February 25, 2024, https://www.nytimes.com/2024/02/25/world/europe/cia-ukraine-intelligence-russia-war.html.

[5] Petroc Taylor, “Amount of Data Created, Consumed, and Stored 2010-2023, with Forecasts to 2028,” *Statista*, June 30, 2025, https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/.

[6] Vladimir Franki, Darin Majnari´c and Alfredo Viškovi´c, “A Comprehensive Review of Artificial Intelligence (AI) Companies in the Power Sector,” *Energies*, January 18, 2023, Vol.16, No.3, p. 1077, https://www.mdpi.com/1996-1073/16/3/1077.

大數據是一種涉及大量數據的資訊技術範疇，其特點在於數據的巨大數量、快速變化、多樣性和真實性。這些特徵在圖 6-1 所示，為「3V」：數據量（Volume）、數據速度（Velocity）及數據多樣性（Variety），[7]以及期關係與定義如下圖 6-1，其中，資料量（Volume）之單位擴展具體如表 1 所示，依位元組（Byte）計算，由小至大為：KB（Kilobyte）、MB（Megabyte）、GB（Gigabyte）、TB（Terabyte）、PB（Petabyte）、EB（Exabyte）、ZB（Zettabyte）與 YB（Yottabyte），分別對應 10^3 至 10^{24} Byte。

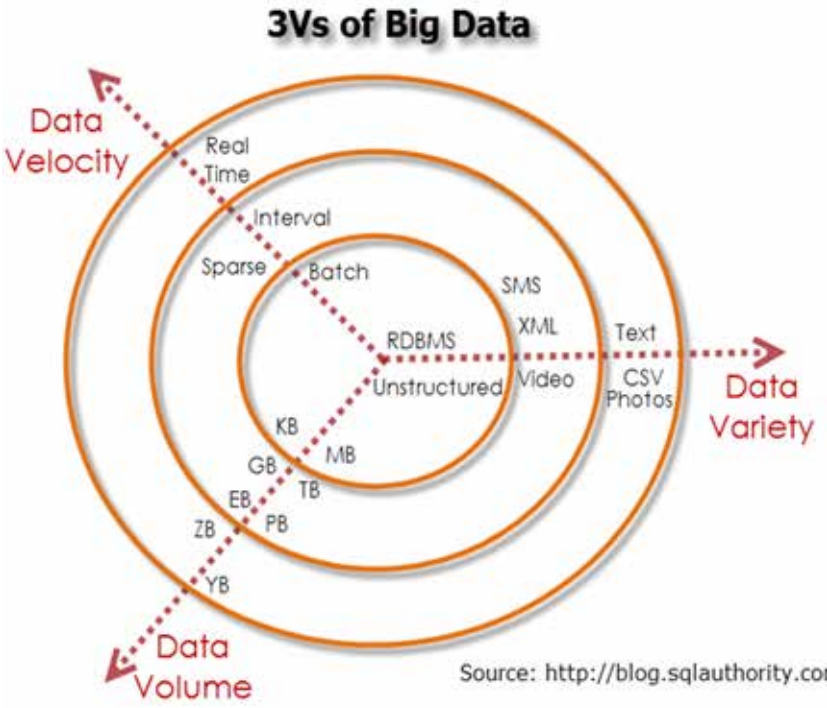


圖 6- 1、大數據 3V 的含義

資料來源：Pinal Dave, "Big Data – What is Big Data – 3 Vs of Big Data – Volume, Velocity and Variety – Day 2 of 21," *SQL Authority*, October 2, 2013, https://blog.sqlauthority.com/2013/10/02/big-data-what-is-big-data-3-vs-of-big-data-volume-velocity-and-variety-day-2-of-21/。

[7] Kaisler, S H., Armour, F., Espinosa, J A., & Money, W H., "Big Data: Issues and Challenges Moving Forward," the 46th Hawaii International Conference on System Sciences, January 1, 2023, https://ieeexplore.ieee.org/document/6479953/.

表 6-1、資料量單位與對應數值

單位縮寫	全名	數值（以 Byte 為單位）
KB	Kilobyte	10^3 = 1,000
MB	Megabyte	10^6 = 1,000,000
GB	Gigabyte	10^9 = 1,000,000,000
TB	Terabyte	10^{12} = 1,000,000,000,000
PB	Petabyte	10^{15} = 1,000,000,000,000,000
EB	Exabyte	10^{18} = 1,000,000,000,000,000,000
ZB	Zettabyte	10^{21} = 1,000,000,000,000,000,000,000
YB	Yottabyte	10^{24} = 1,000,000,000,000,000,000,000,000

資料來源：“Units of Measurement for Storage Data,” *IBM Storage Insights*, December 12, 2024, https://www.ibm.com/docs/zh-tw/storage-insights?topic=overview-units-measurement-storage-data。

數據量（Volume）：大數據的最顯著特徵之一，就是其數據量的巨大。根據美國一間從事市場研究、分析和諮詢的公司，國際數據資訊（International Data Corporation，簡稱 IDC）的統計，全球數據量從 2020 年的 59 澗字節預計將增長到 2025 年的 175 澗字節，每年增長超過 25%。這些數據包括文本、圖片、視頻等多種形式，需要強大的存儲和計算基礎設施來處理。數據速度（Velocity）：除了數據量龐大，大數據還以生成速度快為特徵。隨著物聯網（Internet of Things，以下簡稱 IoT）的普及，大量設備實時生成數據，這些數據需要即時處理以支持決策。

例如，在軍事領域，雷達和衛星系統會生成大量即時數據，這些數據需要迅速分析以判斷威脅和制定應對措施。數據多樣性

（Variety）：數據的多樣性意味著數據來源廣泛且形式多樣，包括結構化數據（Structured Data），如關聯資料庫中的數據；半結構化數據（Semi-structured Data），如 XML 文件；和非結構化數據（Unstructured Data），常見如文字、圖片、音頻等。這些數據的整合和分析需要跨學科的知識和技術支持，特別是在軍事應用中，不同類型的數據可以提供不同的戰術和戰略情報。此外，數據的真實性（Veracity）也是大數據分析中必須考慮的因素之一。真實性涉及數據的準確性和可信度。[8]

在大數據應用中，確保數據的真實性至關重要，特別是在決策支持系統中。如果數據來源不可靠或存在偏差，會影響分析結果的準確性。這在軍事數據分析中尤為關鍵，因為不準確的情報可能導致錯誤的戰術決策，讓人措手不及。現代技術提供多種解決方案應對大數據的特徵。分散式運算（Distributed Computing）允許多台電腦並行處理大數據集，大大提高數據處理效率和速度。雲端存儲提供可擴展的數據存儲方案，使軍事機構能夠存儲和管理海量數據，而無需維護昂貴的硬體設施。機器學習和 AI 技術如虎添翼，經由自動化分析和預測模型，幫助軍事決策者從大量數據中挖掘潛在的有用資訊，支持即時而準確的決策。[9]

總之，大數據技術不僅改變數據處理的方式，也重塑現代軍事作戰的策略和戰術。隨著技術日新月異，大數據的應用範疇和深度將不斷擴展，為軍事領域提供更強大的支持，使得軍事決策更加穩操勝券。[10]

---

[8] Hesham, A., Emam, O E., & Farhan, M S., “Enhanced Framework for Big Data Requirement Elicitation. Science and Information Organization,” I*nternational Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2021: Vol.12, Issue 8, https://thesai.org/Publications/ViewPaper?Volume=12&Issue=8&Code=IJACSA&SerialNo=16.

[9] Ed-daoudy, A., Maalmi, K., & Ouaazizi, A E., “A Scalable and Real-time System for Disease Prediction Using Big Data Processing,” *Multimedia Tools and Applications*, February 22, 2023, Vol.82, No.20, pp. 30405-30434, https://doi.org/10.1007/s11042-023-14562-3.

[10] Sarker, I H., Janicke, H., Μαγλαράς, Λ., & Camtepe, S., “Data-Driven Intelligence can Revolutionize Today’s Cybersecurity World: A Position Paper,” *Arxiv*, August 9, 2023, https:/

參、大數據在軍事情報中的應用

在現代軍事作戰中，情報的準確性和即時性對於戰略決策至關重要。大數據技術顯著提升情報收集與分析能力，使情報機構更高效應對複雜的戰場環境。台灣情報機構利用大數據技術，整合多渠道數據來源，包括衛星影像、訊號情報（Signals Intelligence，簡稱SIGINT）、社交媒體監控等，形成精確即時的情報報告。[11]衛星影像是軍事情報的重要來源之一。

大數據技術透過高解析度的影像監控敵方軍事基地的變化、裝備部署及運輸路線，及時發現潛在威脅。例如，經由分析敵方基地的車輛活動，台灣軍方可以預測可能的軍事行動。SIGINT 則處理海量通信數據，利用模式識別和自然語言處理（Natural Language Processing，縮寫作 NLP），提取關鍵情報，推測敵方行動計劃和時間表，協助識別和定位恐怖組織核心成員。[12]

https://arxiv.org/abs/2308.05126.

[11] Paredes, J N., Teze, J C., Simari, G I., & Martínez, M V., "On the Importance of Domain-specific Explanations in AI-based Cybersecurity Systems (Technical Report)," *Arvix*, August 2, 2021, https://arxiv.org/abs/2108.02006.

[12] Saeed, S., Suayyid, S A., Al-Ghamdi, M S., Almuhaisen, H A., & Almuhaideb, A M., "A Systematic Literature Review on Cyber Threat Intelligence for Organizational Cybersecurity Resilience," *Journal of Sensors*, 2023, Vol.23, No.16, p. 7273, https://www.mdpi.com/1424-8220/23/16/7273.

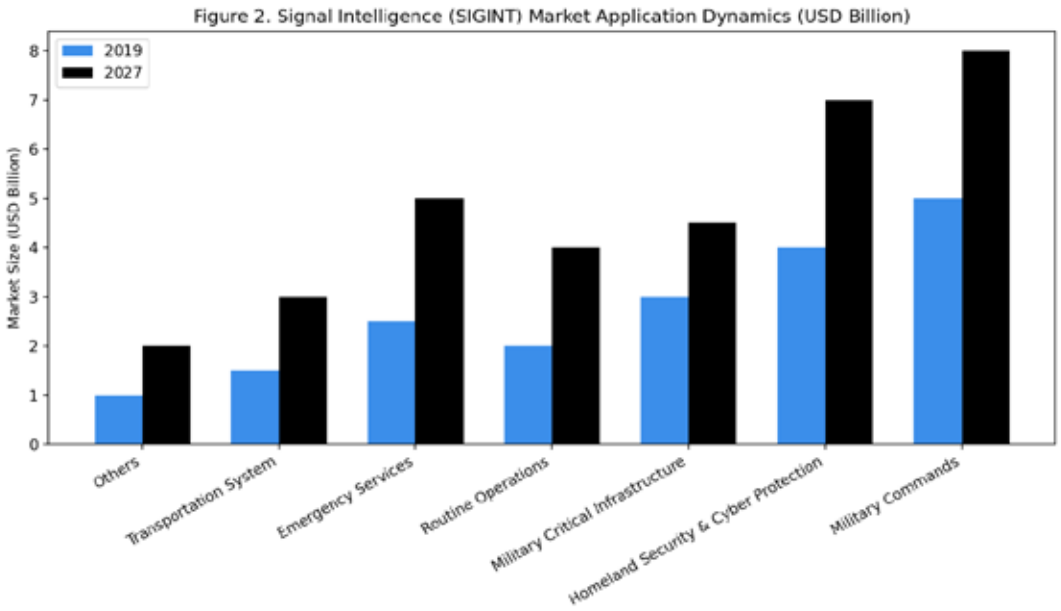


圖 6-2、訊號情報（SIGINT）市場應用動態（單位：十億美元）

資料來源: Emergen Research, "Signal Intelligence Market Size," https://www.emergenresearch.com/industry-report/signal-intelligence-market?srsltid=AfmBOopFtlLwConZxMYK7iDZcuGDhY7oGyF5K710DFsdnNd5ZiHghsKS。

圖 6-2 與表格展示了根據 Emergen Research 資料，訊號情報（SIGINT）市場於 2019 年與預計 2027 年在各應用領域的市場規模（單位：十億美元）。可以明顯看出，所有應用領域的市場需求皆有顯著成長，尤其是「軍事指揮」與「國土安全與網路防護」領域，分別從 50 億美元增長至 80 億美元，以及從 40 億美元增長至 70 億美元，增幅分別達 60%與 75%。其他如「交通系統」、「例行作業」、「緊急應變」等領域也有翻倍成長，顯示 SIGINT 技術在軍事與安全領域的重要性日益提升。[13]

SIGINT 在軍事應用上顯得至關重要，尤其是台灣面對複雜的區域安全挑戰，該技術不僅可提高情報蒐集效率，也加強對敵情的即時掌握和反應能力。特別在國土防衛和網路防護方面，SIGINT 技術

[13] Emergen Research, "Command and Control Systems Market Size Worth USD 44.76 Billion By 2027," *PR NewsWire*, October 3, 2020, https://www.prnewswire.co.uk/news-releases/command-and-control-systems-market-size-worth-usd-44-76-billion-by-2027-cagr-of-3-8-emergen-research-863408434.html.

的發展使台灣更有效地應對網路攻擊和電子戰等威脅。此外，在制定防禦和進攻策略時，台灣軍方可利用這些模型設計針對性的防禦策略，降低潛在威脅風險，達到先發制人的效果。大數據技術在軍事情報中的應用不僅顯著提升情報的準確性和即時性，還增強了軍事決策的科學性和預見性。台灣可借鑒國際先進經驗與系統，進一步加強對潛在威脅的監控與預測，確保國家安全的穩定與發展。

軍事指揮和控制系統的應用上，SIGINT 技術顯示出不可或缺的作用，助力國軍在快速變化的戰場環境中保持優勢。另外，隨著社交媒體的普及，許多潛在威脅的訊息可以從公開的社交媒體貼文與訊息中挖掘出來。大數據分析技術掃描和分析海量的社交媒體數據，發現潛在威脅行為。例如，敵對組織成員可能會在社交媒體上發布隱晦訊息。通過自然語言處理和情感分析技術，這些訊息可以迅速識別和評估。美國國防部報告稱，這種方法已成功定位多個恐怖組織的行動計劃和成員。[14]

大數據技術能構建敵方行動模式的預測模型，基於歷史數據和現有情報，預測敵方未來可能的行動。以當今實際應用為例，烏克蘭戰爭期間，烏軍透過大數據分析開源情資（Open Source Intelligence, OSINT），結合地理資訊與社群媒體數據，精準掌握俄軍調動狀況。例如由美國技術公司 Planet Labs 提供的高解析衛星影像，搭配自動化目標識別演算法，有效協助指揮單位即時判斷攻擊節點。該案例展示出大數據在戰場感知與任務規劃上的實質效益。[15]

肆、大數據與作戰指揮系統

作戰指揮系統在現代軍事行動中舉足輕重，負責整合與分析來

[14] Paredes, J N., Teze, J C., Simari, G I., & Martínez, M V., Ibid.

[15] Michal Onderco, “Navigating the AI Frontier: Insights from the Ukraine Conflict for NATO’s Governance Role in Military AI,” *Journal of Strategic Studies 48*, No. 3, 2025, pp. 602–626, https://doi.org/10.1080/01402390.2025.2463451.

自各方的情報，為指揮官提供即時戰場態勢感知與決策支持。[16]隨著大數據技術的迅猛發展，各國軍事力量已經在作戰指揮系統中導入先進的數據分析工具，[17]大幅提升系統效率與精確度，使指揮官能在瞬息萬變的戰場中從容應對。

大數據技術的應用，讓指揮系統能夠整合地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）、無人航空載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）或稱無人飛行器系統（Unmanned Aircraft System, UAS）實施偵察任務、即時監控（Real-time Monitoring，簡稱 RTM）數據及歷史數據，繪製動態戰場全景圖，使指揮官得以運籌帷幄，決勝千里。[18]

大數據分析技術在行動方案模擬與戰場預測中發揮錙銖必較的作用。透過建構敵我雙方行動模組並模擬其可能演化情境，指揮官可在高度不確定的戰局中進行快速風險評估與優劣勢分析，從而達成「知己知彼、百戰百勝」之目標。例如在近年我國漢光演習中，軍方即充分運用大數據分析技術，對敵方可能行動進行詳細模擬，結合情資態勢預判與兵力部署模型，制定相應反制作為，為未來實戰奠定了堅實基礎。[19]

進一步而言，相關研究亦指出人工智慧輔助兵棋推演已具備整合應用潛力。筆者（Li, 2025）探討 AI 技術，於兵棋模擬系統中的運作方式，說明其能針對不同戰術情境產生多元決策選項，並進行準確風險評估與推演成效分析。此類 AI 模組若能與現有戰區推演系

---

[16] "JOINT INTELLIGENCE PREPARATION OF THE OPERATIONAL ENVIRONMENT," *Joint Chief of Staff*, May 21, 2014, https://fas.org/irp/doddir/dod/jp2-01-3.pdf.

[17] Sugiura Yasuyuki, "The PLA's Pursuit of Enhanced Joint Operations Capabilities," *NIDS China Security Report 2022*, December 4, 2023, http://www.nids.mod.go.jp/publication/chinareport/pdf/china_report_EN_web_2022_A02.pdf.

[18] Mingxi Wu, "Cyberspace Operations," *Intelligent Warfare: Prospects of Military Development in the Age of AI*, (London: Routledge, 2022), pp. 240-281, https://doi.org/10.4324/b22974-11.

[19] Meerveld, H., Lindelauf, R., Postma, E O., & Postma, M., "The Irresponsibility of Not Using AI in the Military," *Ethics and Information Technology*, 2023, Vol.25, No.1, https://link.springer.com/article/10.1007/s10676-023-09683-0.

統高度整合，將有助於形塑動態可調整之戰場決策架構，強化我軍於聯合作戰環境中的反應效率與指管靈活度[20]

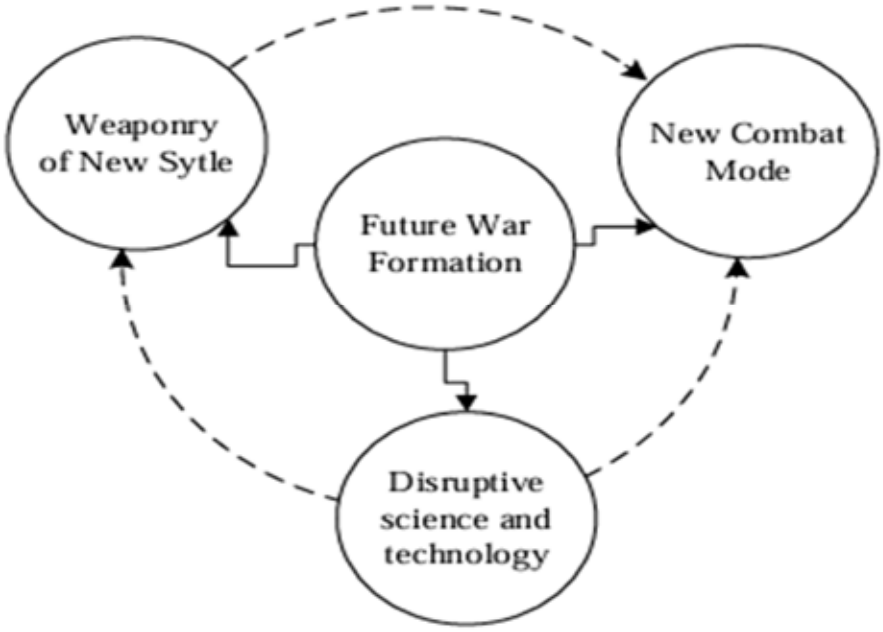


圖 6-3、未來戰爭形態的組成要素

資料來源：Jiang, Y., Liu, J., & Li, X., "Research on the Future War Driven by Big Data," *IOP Publishing*, Vol.1624, No,3, October 1, 2020 ,https://doi.org/10.1088/1742-6596/1624/3/032048。

未來戰爭形態的發展與大數據技術的應用密不可分。如圖 6-3 所示，未來戰爭形態由新型武器、新戰鬥模式及顛覆性科技相互耦合構成，這些要素彼此交織，推動戰爭形態不斷演進。顛覆性科技往往催生新型武器，這些武器具備更高精確度與更快反應速度，並進一步推動戰鬥模式的演變。[21]新戰鬥模式的出現也需要新的科技突破來支援，形成環形互動關係，使未來戰爭形態更為多樣與複雜。這種相互耦合過程不僅展示戰爭形態的多樣性，也強調科技進步在軍事革命中的核心地位。

---

[20] Li, H. X., "Exploration of Wargaming and AI Applications in Military Decision-Making," *In 2025 International Conference on Military Technologies*., May, 2025, https://ieeexplore.ieee.org/document/11061360.

[21] Jiang, Y., Liu, J., & Li, X., "Research on the Future War Driven by Big Bata," *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, Vol.1624, No.3, https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1624/3/032048.

展望未來，隨著大數據技術的持續發展，作戰指揮系統將在未來戰爭中持續發揮關鍵作用，成為不可或缺的核心力量，助指揮官在風雲變幻的戰場上出奇制勝，所向披靡。目前許多國家軍方亦積極導入模擬技術與 AI 演算法於軍事決策支援中。例如，美國國防部之「聯合作戰模擬環境（JOSE）」整合多個決策模擬引擎，運用強化學習（Reinforcement Learning）模組模擬多波次交戰策略，進行藍紅對抗演練；該系統可於幾小時內完成原需數天進行的戰略推演流程。[22]此類模擬模型除能減少人員操演成本，亦提升跨部會協同規劃精準度。

伍、大數據在後勤與資源管理中的應用

後勤和資源管理（Logistics and Resource Management）是軍事行動成敗的基石，決定了部隊能否維持高效運作並應對複雜戰場環境。隨著現代戰爭日趨複雜，對後勤和資源管理的要求也日益提升。軍事後勤規劃，可透過大數據進行精確的需求預測（Demand Forecasting），經由分析龐大的歷史數據與即時資訊（Real-Time Data），軍方能有效預測未來物資需求。[23]分析不同戰況下物資消耗數據，軍方可計算特定作戰情境中的燃料（Fuel）、彈藥（Ammunition）、食物（Food）及醫療用品（Medical Supplies）需求，後勤部門得以提前準備，避免在關鍵時刻出現短缺，保障戰鬥力的持續性。數據分析能優化資源分配（Resource Allocation），軍方可按照各部隊需求和任務優先級，制定最佳資源配置方案，在資源有限的情況下，最大限度提升效率。

---

[22] U.S. Department of Defense, “Joint Simulation Environment Overview,” November 2023, https://www.navair.navy.mil/nawcad/sites/g/files/jejdrs546/files/document/%5Bfilename%5D/Joint%20Simulation%20Environment%20Overview_PAO2023-0057_0.pdf.

[23] Marlow, W H., “Some Accomplishments of Logistics Research,” *Naval Research Logistics Quarterly*, December 1960, Vol.7, No.4, pp. 299-314, https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/nav.3800070404.

例如，在多部隊協同作戰時，這種技術能協助決策者確保關鍵部隊獲得優先支援。[24]供應鏈管理（Supply Chain Management）也因大數據的應用而更加高效，減少供應鏈中的浪費和瓶頸，強化後勤保障。大數據在預防性維護（Preventive Maintenance）與故障預測（Failure Prediction）中同樣扮演重要角色。對於高精度武器（High-Precision Weapons）及其他關鍵軍事裝備，透過監測裝備的使用狀況與運行數據，能識別潛在故障風險。[25]許多軍事設備在使用一段時間後，性能下降或故障，藉由分析過往歷史數據可提前預測風險，能適時進行預防性維護，避免作戰中因裝備故障導致失敗。

運輸與物流管理（Transportation and Logistics Management）領域，大數據同樣發揮了關鍵作用。透過分析運輸路線（Transportation Routes）、天氣狀況（Weather Conditions）與交通流量（Traffic Flow）等因素，軍方可制定最佳運輸方案，確保物資快速且安全地送達前線，並降低運輸過程中的風險[26]。精確管理物資流動（Managing Material Flow）確保資源妥善分配避免錯誤分配與部屬。大數據在資源回收與再利用（Resource Recovery and Reuse）也展現重要價值。尤其在軍事行動中，更減少浪費與控制成本的關鍵策略，軍方能有效識別可回收資源，並制定再利用策略。例如，對於未使用或剩餘的彈藥與燃料，分析其狀態與儲存條件後，確定最佳再利用方式，提高資源效益。[27]

---

[24] "Closing the OODA Loop: Using Big Data and Analytics to Improve Decision Making," *SAS White Paper,* February 6, 2023, https://www.sas.com/en/whitepapers/closing-ooda-loop-107222.html.

[25] Xue, D., Wang, Z., & Chen, Y., "Joint Maintenance Decision Based on Remaining Useful Lifetime Prediction Using Accelerated Degradation Data," *IEEE Access*, April 2022, https://doi.org/10.1109/access.2022.3165050.

[26] J G. Kallimani, "The Challenges of Digitisation and Data Analysis in the Maritime Domain," *Maritime Affairs: Journal of the National Maritime Foundation of India*, 2018, Vol.14, No.1, pp. 36-50, https://doi.org/10.1080/09733159.2018.1478433.

[27] Swartz, S M., & Johnson, A E., "A Multimethod Approach to the Combat Air Forces Mix and Deployment Problem," *Mathematical and Computer Modelling*, March 2024, Vol.39, No.6-8, pp. 773-797, https://doi.org/10.1016/s0895-7177(04)90554-7.

根據 2023 年 *Rethinking Risk in Great Power Competition* 指出，[28] 隨著全球安全局勢日益複雜及大國競爭加劇，大數據技術在軍事戰略與戰術中的應用日漸重要。報告強調，大數據分析能顯著縮短軍方的決策時間，提升作戰行動的精準度，並增強對敵我態勢的預警能力。報告強調即時更新與整體風險溝通（Real-Time Updating and Holistic Risk Communication）的必要性，以確保風險評估的準確性和有效性。在此條件背景下，

如下圖 6-4 所示，可進一步強化風險管理的理論基礎。此圖將風險分為四個層級：高風險（High Risk）、顯著風險（Significant Risk）、中度風險（Moderate Risk）及低風險（Low Risk），並結合風險發生的概率與其後果，提供一個可視化的框架，幫助軍事決策者更好地洞察和掌控風險。通過大數據的運用，軍方能夠精確識別並評估這些風險，進而在戰略決策中更為從容。報告進一步指出，風險評估不應僅依賴於靜態的數據模型，而需結合即時訊息的動態更新，方能應對戰場上的瞬息萬變。例如，透過即時訊息的快速更新，軍方能夠在實戰中根據最新資訊迅速調整戰略，確保各類風險在可控範圍內，不至於措手不及。[29]

[28] J Combe II, P. C., Jensen, B., & Bogart, A., "Rethinking Risk in Great Power Competition," *CSIS*, February 17, 2023, https://www.csis.org/analysis/rethinking-risk-great-power-competition.

[29] David R. Johnson, "Integrated Risk Assessment and Management Methods Are Necessary for Effective Implementation of Natural Hazards Policy," *Risk Analysis*, January 14, 2019, Vol.41, No.7, pp. 1240-1247, https://doi.org/10.1111/risa.13268.

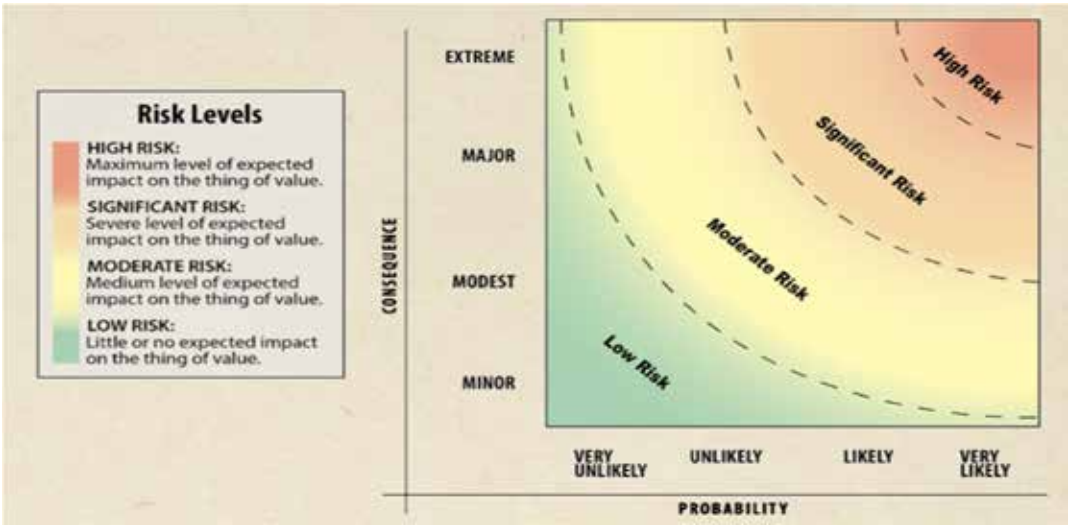


圖 6-4、風險輪廓圖示：大數據技術下的風險評估模型

資料來源: J Combe II, P. C., Jensen, B., & Bogart, A., "Rethinking Risk in Great Power Competition," *CSIS*, February 17, 2023, https://www.csis.org/analysis/rethinking-risk-great-power-competition。

由此可見，大數據在後勤與資源管理中的應用，不僅能提升軍事行動的效率與精確性，結合即時更新和動態風險評估，更能強化台灣軍方在決策時的資源運用。這些技術的應用使軍方在面對資源不對稱或有限的情況下，能夠最大化發揮作戰潛力，在面臨不斷變化的戰略環境時遊刃有餘，迅速應對各種挑戰。以現行聯合作戰後勤演練模擬經驗為基礎，Powers 與 O'Flynn（2022）提出一套運用近似動態規劃的後勤模擬分析架構，成功應用於敵擾環境下的戰術資源分配預測，其方法在模擬多重部署策略時，顯著提升決策時間效率與可行性。該模型依據歷史供應鏈資料結合戰場干擾參數，透過模擬工具生成資源配置優化路徑，其模擬結果顯示，相較傳統人工演算策略，演算時間平均縮短 43%，可協助決策者即時應對多域戰場突發任務需求。[30]此一案例驗證模擬建模與大數據整合的可行性，也顯示該技術未來可望成為我國後勤演算與戰備資源動態配置的基

[30] Powers, M., & O'Flynn, B., "Contested Logistics Simulation Output Analysis with Approximate Dynamic Programming: A Proposed Methodology," *Journal of Defense Analytics and Logistics*, 2022, Vol.6, No.2, pp. 120–133, https://doi.org/10.1108/JDAL-07-2022-0004.

礎參考模式。

陸、大數據技術在現代戰爭中的挑戰與應用

隨著網路空間（Cyberspace）逐漸成為現代戰爭的中流砥柱，數位化的普及導致網路攻擊（Cyberattacks）的頻率和複雜性顯著攀升。各國面臨來自全球的網路威脅（Cyber threats），這些威脅涵蓋間諜活動（Espionage）、網路破壞（Cyber sabotage）、數據竊取（Data Theft）等諸多層面。大數據技術（Big Data technology）在網路安全（Cybersecurity）中的應用，顯著增強了防禦能力，使各國能夠更加從容應對這些挑戰。

藉由監控和分析大量的網路數據流量（Network Data Traffic），大數據技術可以識別異常行為並進行未雨綢繆，分析過去的攻擊數據以總結出攻擊者的行為模式，並能實時處理和分析網路數據以偵測和應對威脅。[31]大數據技術促進威脅情報的共享與協同防禦（Collaborative Defense），使用建立集中的資料庫和分析平台，全球各地的安全機構可以共享威脅情報，強化了整體防禦網路的效能。

然而，大數據技術的應用仍面臨多重挑戰，尤其在數據安全（Data Security）和隱私保護（Privacy Protection）方面。由於大數據技術需要處理大量敏感數據，任何數據洩漏或濫用皆可能引發嚴重後果。全球範圍內的數據安全漏洞依然比比皆是，可以有效管控大數據技術的硬體和軟體基礎設施（Infrastructure）成本高昂，維護費用亦是沉重負擔。[32]

在法律與倫理層面，大數據的使用涉及大量個人數據的收集與

[31] Nguyen, T T., & Reddi, V J, "Deep Reinforcement Learning for Cyber Security," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2021, Vol.34, No.8, pp. 3779-3795. https://doi.org/10.1109/tnnls.2021.3121870.

[32] Ávila, R., Khoury, R., Khoury, R., & Petrillo, F., "Use of Security Logs for Data Leak Detection: A Systematic Literature Review," *Security and Communication Networks*, January 2021, Vol.1, pp. 1-29, https://doi.org/10.1155/2021/6615899.

分析，可能引發隱私權和數據保護的問題。在應用大數據技術時，須遵守國內外相關法律法規，確保數據處理的合法性與合規性，包括數據收集的透明度和數據主體的知情權，防止數據濫用或非法轉移。隨著人工智慧（AI）和大數據技術的進一步發展，這些技術在軍事領域的應用將更加深入，例如自動化戰場管理系統（Automated Battlefield Management Systems）能利用大數據和人工智慧技術分析戰場態勢，提供實時決策支持，並架接分析敵方行動模式與弱點，制定精準打擊方案，提升作戰效能。

未來，大數據技術將與其他新興技術如區塊鏈（Blockchain）和 IoT 進行更深層次的融合，而區塊鏈技術可提供更高的數據完整性和透明度，防止數據篡改，而 IoT 技術則可藉連接大量感測器和設備，實時收集戰場各類數據，進一步豐富大數據的應用場景。[33]綜觀全局，隨著大數據技術的不斷進步，各國必須持續加強技術能力，完善法律與倫理框架，確保這些技術能夠在安全且合規的前提下應用，以應對日益複雜的戰場挑戰。對於軍事應用而言更是危機四伏。數據品質和準確性問題亦不容忽視，軍事大數據應用中，數據來源錯綜複雜且品質參差不齊，可能對分析結果的準確性造成影響，因此，未來在提升技術應用深度的同時，也必須加強數據治理，確保數據的高品質和可信度，才能真正發揮大數據技術的潛力。

柒、結語與建議

綜觀前述，大數據技術與人工智慧在現代聯合作戰中展現高度應用潛力，然我國實務推動歷程中亦面臨三項關鍵挑戰：一為資料分類與權限分級尚未標準化，限制跨單位共享效率；二為資料可信

[33] M. Stroppa, “Legal and Ethical Implications of Autonomous Cyber Capabilities: A Call for Retaining Human Control in Cyberspace,” *Ethics and Information Technology*, 2023, Vol.25, No.7, https://doi.org/10.1007/s10676-023-09679-w.

度與來源溯源機制不足，使 AI 輔助結果仍需仰賴人工作業驗證；三為現行 C4ISR 體系與 AI 模組整合度有限，導致資訊無法順利轉化為行動建議，產生決策延滯風險。有鑑於此，建議我國未來應從三方面著手：

（一）強化資料治理架構，建立資料標準格式、分類標準與資訊標記規範，提升跨域共享之可行性。

（二）推動模擬建模應用於平時演訓中，驗證 AI 系統在多變戰場條件下的實用性與穩定性，並納入人因評估，建構「人機協同決策流程」。

（三）促成國防與學研、產業界協作機制，進行演算模型之安全驗證與倫理評估，提升 AI 部署信任與落地基礎。

自 2025 年起，美、英等北約國家均強調「數據即戰力（Data as a Weapon）」為軍事數位戰略核心原則。我國亦應審慎規劃，以「資料治理」、「演算驗證」、「組織協作」為主軸，推動具前瞻性之大數據軍事應用政策，方能於未來多域作戰環境中確保決策優勢與國防自主發展。

The Application of Big Data Analytics in Modern Warfare

Hung-Xin Li

Management College, National Defense University

Abstract

Big data analytics have become a pivotal force in reshaping modern military operations, particularly in enhancing operational awareness, decision-making precision, and multi-domain resource management. This study investigates the integration of big data technologies within Taiwan's defense framework, focusing on real-time decision support, logistics optimization, and battlefield simulations. While these applications significantly strengthen strategic agility, they also introduce challenges concerning data classification, system interoperability, and algorithmic transparency. Through case-driven analysis and literature review, this paper outlines the evolving role of AI-assisted wargaming and simulation modeling in force deployment and mission planning. The findings emphasize the urgent need to establish robust data governance mechanisms and cross-domain validation protocols to ensure the reliability, security, and ethical alignment of data-driven systems in complex threat environments. As global powers increasingly adopt a "Data as a Weapon" strategy, Taiwan must proactively align its digital transformation with allied standards to sustain deterrence and enhance defense autonomy.

Keywords：Big Data Analytics; Military Decision-Making; AI-enabled Wargaming; Simulation Modeling; Data Governance; Multi-Domain Operations; Taiwan Defense Strategy