

國防安全雙週報

第 99 期

- | | | |
|-------------------------------|-----|----|
| 2025 年第三季中國經濟情勢分析 | 林雅鈴 | 1 |
| 北韓 80 周年黨慶紀念閱兵之意涵 | 林志豪 | 9 |
| 美澳礦物協議下的戰略資源新局 | 劉翎端 | 17 |
| 蜂群、AI 與跨域：無人機戰爭新典範的
全球安全挑戰 | 唐明華 | 23 |
| 城鎮戰各類阻絕設施布建之效益評估 | 賀增原 | 33 |
| 人工智慧演算法在共同作戰圖像、指揮
與管制之運用 | 林超倫 | 41 |

臺北市博愛路 172 號
電話 (02) 2331-2360
傳真 (02) 2331-2361

2025 年 11 月 6 日發行



財團法人國防安全研究院
Institute for National Defense and Security Research

Contents

A Preliminary Analysis of China’s Economic Situation in the Third Quarter of 2025 <i>Ya-Ling Lin</i>	1
The significance of Military Parade Marks 80th Founding Anniversary of WPK <i>Chih-Hao Lin</i>	9
Strategic Resource Realignment under the U.S.-Australia Critical Minerals Agreement <i>Ling-Tuan Linda Liu</i>	17
Swarming, AI, and Cross-Domain Integration: The Emerging Paradigm of Drone Warfare and Its Global Security Implications <i>Ming-Hua Tang</i>	23
Effectiveness Assessment of Various Barrier Facilities Deployed in Urban Warfare <i>Tzeng-Yuan Heh</i>	33
Application of Artificial Intelligence Algorithms in Common Operational Picture and Command and Control <i>Chau-Luen Lin</i>	41

2025 年第三季中國經濟情勢分析

林雅鈴

國家安全研究所

焦點類別：國際情勢

壹、前言

根據中國國家統計局近期公布的數據，2025 年前三季中國經濟成長率為 5.2%，¹雖然高於中國政府所設定的 5% 左右的全年增長目標，但若按季度來看，今年中國前三季的經濟成長率分別為 5.4%、5.2%、4.8%，呈現明顯放緩趨勢；其次，2025 年 1 至 9 月全國固定資產投資比 2024 年同期下降 0.5%，²為 2020 年 8 月以來首次轉負；第三，2025 年 9 月社會消費品零售總額比 2024 年同期增長 3%，連續四個月放緩，亦是 2024 年 11 月以來最低水平。³此均顯示在美中貿易戰前景未明、關稅政策不確定以及國內投資下滑、需求不足等問題影響下，中國經濟仍面臨缺乏成長動力的危機。

貳、安全意涵

一、投資下滑成為經濟成長放緩之重要因素

根據中國國家統計局數據顯示，2025 年前三季中國固定資產投資比 2024 年同期下降 0.5%，三大投資中，製造業投資比 2024 年同期增長 4%，基礎建設投資僅比 2024 年同期增長 1.1%，房地產開發投資則比 2024 年同期下降 13.9%，持續抑制整體投資表現。

以往投資作為拉動中國經濟成長的一大動力，固定資產投資的

¹ 〈2025 年三季度國內生產總值初步核算結果〉，《中國國家統計局》，2025 年 10 月 21 日，https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202510/t20251021_1961646.html。

² 〈2025 年 1-9 月份全國固定資產投資基本情況〉，《中國國家統計局》，2025 年 10 月 20 日，https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202510/t20251020_1961610.html。

³ 〈2025 年 9 月份社會消費品零售總額增長 3.0%〉，《中國國家統計局》，2025 年 10 月 20 日，https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202510/t20251020_1961606.html。

增長速度一直高於經濟成長率，然而，自 2023 年以來，固定資產投資增長速度持續下滑，逐漸低於經濟成長率，除因房地產市場持續不景氣致使房地產開發投資大幅下滑拖累整體投資之外，2025 年以來，製造業投資及基礎建設投資也都呈現下降趨勢。

製造業投資方面，在中國政府「新質生產力」政策引導下，資金大量湧入高技術和先進製造業領域，在高技術產業投資中，2025 年 1 至 9 月航空、航天器及設備製造業投資增速高達 22.3%、汽車製造業投資增長 19.2%；在大規模設備更新政策影響下，2025 年 1 至 9 月設備工器具購置投資也比 2024 年同期大幅增長 14%。⁴然而，隨著中國政府「反內卷」政策的推出，以及因關稅政策不確定導致部分製造業投資趨於謹慎，當前製造業投資已經逐漸呈現放緩趨勢。

基礎建設投資方面，隨著基礎建設逐漸完善，可以預期未來基礎建設投資增長將會趨緩。由於基礎建設投資主要由國有企業主導，觀察 2025 年以來的國有企業投資可以發現，國有企業固定資產投資從 2025 年初的 7%一路下滑，2025 年 1 至 9 月國有企業固定資產投資僅比 2024 年同期成長 1%。⁵此外，受到地方政府債務問題影響，當前地方政府也缺乏資金投入基礎建設，此都將制約中國基礎建設投資的增長。

此外，根據中國國家統計局數據顯示，2025 年 1 至 9 月中國民間投資比 2024 年同期下降 3.1%，連續 4 個月衰退，外商企業投資近年亦是持續衰退，在 2023 年第三季中國首次出現外商直接投資淨流出後，2025 年第二季外商直接投資金額已降至 87 億美元，僅為 2022 年第一季最高峰時的 8%。此均顯示在中國整體經濟發展復甦乏力、

⁴ 〈2025 年 1-9 月份全國固定資產投資基本情況〉，《中國國家統計局》，2025 年 10 月 20 日，https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202510/t20251020_1961610.html。

⁵ 〈2025 年 1-9 月份全國固定資產投資基本情況〉，《中國國家統計局》，2025 年 10 月 20 日，https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202510/t20251020_1961610.html。

經濟前景充滿不確定性、總體經商環境不佳等因素影響下，中國民間企業及外商都沒有動力進行投資。

二、居民收入增長放慢持續抑制消費

根據中國國家統計局數據顯示（圖 1），2025 年前三季居民人均可支配收入分別比 2024 年同期增長 5.6%、5.4%、5.2%，呈現增速持續減緩的情況。消費方面，2025 年前三季的居民人均消費支出分別比 2024 年同期增長 5.3%、5.2%、4.7%，第三季的增長速度為最近三年來最低增速。⁶此外，除了在新冠肺炎疫情期間之外，中國居民人均消費支出增長速度多高於全國居民人均可支配收入的增長，但在今年以來，全國居民人均消費支出增速再次低於全國居民人均可支配收入，顯示在收入增長持續減緩的情況下，民眾更是大幅減少消費支出。

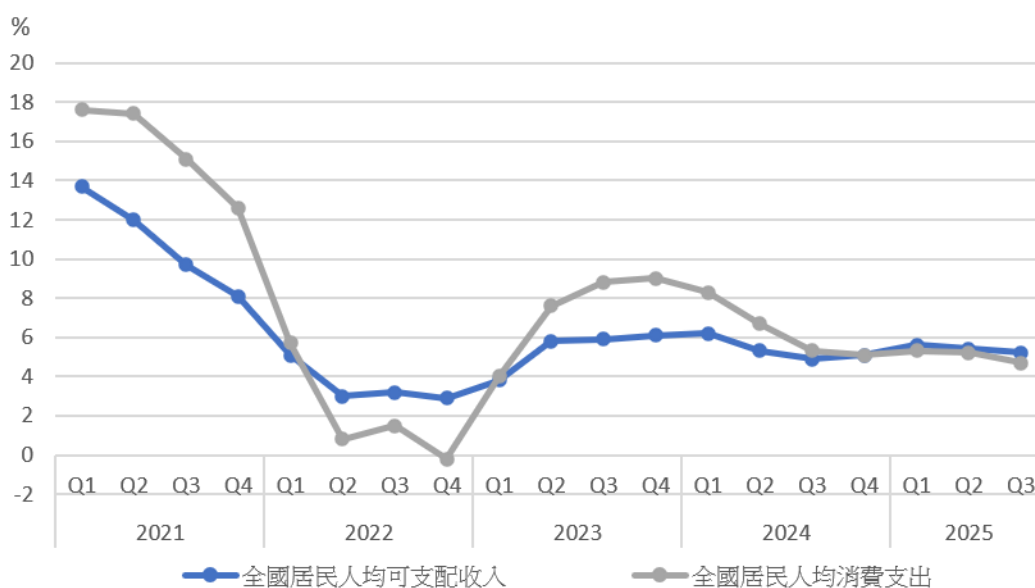


圖 1、中國全國居民收入和消費支出情況（2021 年至 2025 年）

資料來源：作者根據中國國家統計局資料自行繪製。

居民收入增長減緩直接導致民眾消費支出降低，2025 年前三季

⁶ 中國國家統計局國家數據，<https://data.stats.gov.cn/index.htm>。

社會消費品零售額比 2024 年同期增長 4.5%，低於經濟成長率增速；9 月的社會消費品零售額只比 2024 年同期增長了 3%，增速為最近一年來最低。⁷從數據可以明顯看出，除了因「以舊換新」政策而獲得財政補貼的相關領域有增長，如 2025 年 1 至 9 月家用電器和音像器材類商品零售總額比 2024 年同期增長 25.3%，家具類商品零售總額比 2024 年同期增長 21.3%，通訊器材類商品零售總額比 2024 年同期增長 20.5% 等，其他領域的消費支出均十分疲弱。而消費增長乏力直接導致內需不足，而內需不足又會反過來抑制居民收入增長和消費增長，進而形成了惡性循環。

此外，根據中國國家統計局的資料顯示，中國消費者信心指數持續處在悲觀區間，民眾對未來就業和收入增長的擔憂，以及房地產市場不景氣帶來的負財富效應，都使得居民更傾向於增加預防性儲蓄而非擴大消費。截至 2025 年 3 月，全國居民存款總額已達到 128.7 兆元人民幣，比 2024 年同期成長 8.3%，人均存款額首次突破 9 萬元人民幣，達到 91,352 元人民幣，較 2024 年同期增長 6.7%，而至 2025 年前三季中國居民存款已增加了 12.73 兆元人民幣，此都進而抑制了消費帶動經濟成長的動力。

參、趨勢研判

一、出口能否維持強勁態勢成為經濟成長的關鍵

根據中國海關總署數據顯示，2025 年前三季中國出口達到 19.95 兆元人民幣，比 2024 年同期增長 7.1%。顯見美中貿易戰再起後，中國政府的應對策略正持續發揮作用。首先，2025 年前三季，中國對共建「一帶一路」國家的進出口額飆升至 17.37 兆元人民幣，比 2024 年同期增長 6.2%，佔外貿總值的比重已高達 51.7%，與東協地區的

⁷ 〈2025 年 9 月份社會消費品零售總額增長 3.0%〉，《中國國家統計局》，2025 年 10 月 20 日，https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202510/t20251020_1961606.html。

貿易則成長 9.6%，與非洲國家的貿易成長 19.5%，與中亞地區的貿易成長 16.7%。此意味著在對美國出口大幅下滑的情況下，中國政府透過開拓其他地區市場，已能有效轉移出口美國市場減少的風險。

其次，中國出口的商品不再僅僅是勞動密集型產品，而是日益轉向技術密集型的機電產品和高新技術產品。2025 年前三季，機電產品出口比 2024 年同期增長 9.6%，佔出口總值的比重提升至 60.5%。其中，高端設備出口比 2024 年同期增長 22.4%、儀器儀表出口比 2024 年同期增長 15.2%等，顯見高技術產品出口增速驚人。這也反映出中國在全球產業鏈中的地位正在穩步提升，其製造業的競爭力已從成本優勢逐漸轉向技術優勢。

然而，若進一步觀察可以發現，2025 年 9 月中國的出口增長速度已經明顯放緩，僅比 2024 年同期增長 2.4%，相比 8 月時出口增長 8.7% 下滑許多。也就是說，雖然今年前三季中國強勁的出口成為拉動經濟成長的重要動力，但 9 月出口增速急遽放緩，中國與其他國家的貿易爭端，如與歐盟之間對於電動車加徵關稅的緊張情勢等，都將對未來中國出口形成壓力，進而引發出口能否成為持續帶動經濟成長的質疑。

二、中國政府正面臨去風險與刺激政策的兩難

從當前中國政府政策來看，在發展「新質生產力」的前提下，高新技術製造業等關鍵戰略產業成為國家主導投資的重點，同時也成為推動製造業投資成長的重要動力。然而，目前看來，這一新動能仍不足以抵銷房地產市場不景氣所造成的相關產業衰退；再者，這種由國家主導的投資模式，未能有效激發就業和創新主體的民營企業投資。中國政府雖然推出多項旨在改善營商環境、提振民營經濟的政策文件，但持續下滑的民間投資數據表明，在總體經濟不確

定性、市場准入壁壘以及政策可預期性減弱的背景下，這些措施尚未能從根本上扭轉民營企業家的悲觀預期。

於此情況下，中國政府短期內想要提振經濟，勢必要推出更為強勁的刺激政策，但地方政府債務問題、房地產企業的高槓桿都已讓中國政府將去風險化列為經濟治理的核心。以地方政府債務問題為例，根據中國財政部數據顯示，截至 2025 年 8 月，全國地方政府法定債務餘額已達 53.25 兆元人民幣，此尚未包括規模龐大、數據不透明的地方政府融資平台（LGFVs）所承擔的隱性債務，2024 年至 2026 年中國政府推動約 10 兆元人民幣規模的「債務置換/再融資」方案，優先用於「降風險」而非新增投資支出，顯示當前地方政府債務問題已然十分嚴重。也就是說，中國政府目前正試圖透過化債去槓桿降低中長期金融風險，此就將制約國家推出大規模經濟刺激政策的選擇，導致中國政府陷入去風險化與刺激經濟政策的兩難困境。

整體而言，當前中國經濟成長的一大困境在於中國政府始終未能找到可以取代房地產的產業來推動經濟成長。雖然中國政府似乎意圖透過投資高科技產業，把高科技產業作為帶動經濟的動力，但跟傳統製造業相比，高科技產業能夠提供的就業機會較為有限，而目前中國政府投入的高科技產業，像是半導體、人工智慧等這些產業，都沒有辦法創造出像是房地產行業這麼大的動力，這就導致中國始終缺乏帶動經濟增長的引擎。在當前美中貿易戰仍充滿不確定性的情況下，倘若未來中國出口受限，加上中國政府又要防控財政金融風險，中國政府想要維持經濟增長目標恐將十分不易；而在 2025 年 10 月底召開二十屆四中全會後，中國政府公布「十五五規劃」建議稿，釋放出要強化消費的信號，期能提高居民消費佔 GDP 比重，以此拉動經濟成長，但在當前民眾對於未來經濟前景悲觀的

情況下，如何提振民眾信心將是提振內需、擴大消費的重要關鍵；但以當前公布的「十五五規劃」全文來看，中國政府仍將建構產業體系、發展高科技自主列於擴大內需之前，顯見強化科技發展，確保中國在先進製造和科技領域取得全球領先地位，將仍是未來經濟工作的重點，能否有效提升民眾消費以拉動經濟仍將有待觀察。

北韓 80 周年黨慶紀念閱兵之意涵

林志豪

國家安全研究所

焦點類別：國際情勢、印太區域

壹、前言

朝鮮勞動黨於 2025 年 10 月 10 日晚間於平壤的金日成廣場舉行 80 周年黨慶紀念閱兵。¹越南共產黨總書記蘇林 (To Lam)、中國共產黨中央政治局常委李強、俄國統一俄羅斯黨主席梅德維傑夫 (Dmitry Medvedev)，以及其他外國政要、使節共同出席此次紀念閱兵典禮。北韓從 10 月 8 日開始至 10 月 13 日之間進行一系列的 80 周年黨慶紀念活動。這次的 80 周年黨慶首次對外公開參加俄烏戰爭的「海外作戰部隊」之外，並展示新款國產主力戰車「天馬—20」與新款洲際彈道飛彈「火星—20」。朝鮮勞動黨總書記金正恩也在 80 周年黨慶閱兵前後，接見來自越南、寮國、中國、俄國等國政要，同時也在閱兵典禮當天發表重大演說。²

貳、安全意涵

一、在軍事與外交方面強調日益鞏固的朝俄友誼

根據韓國統一研究院的統計數據，³若以參與受校閱的部隊人數與裝備數量來看，今年的閱兵規模是自 2021 年北韓開始在夜間舉行閱兵活動之後，有統計數字以來的第二大規模，共有 72 個地面受校

¹ 〈영광스러운 조선로동당창건 80돐 경축대회 성대히 진행〉, 《조선중앙통신》, 2025年10月11日, <http://kcna.kp/kp/article/q/780bbedcafe0ee916327a7bd1edd7320.kcmsf>。

² 〈조선로동당창건 80돐경축 열병식에서 한 김정은동지의 연설〉, 《조선중앙통신》, 2025年10月11日, <http://kcna.kp/kp/article/q/98581644aaab42df16a8937ae1266bce.kcmsf>。

³ 홍민, 〈북한 당창건 80주년 열병식 분석〉, 《통일연구원 Online-Series》(CO25-36, 2025年10月21日), 頁1-3。

縱隊，合計 1 萬 8 千人參加。在這當中共有 60 個徒步縱隊和 12 個機械化縱隊。今年北韓也在閱兵典禮的前一天晚上（10 月 9 日），在同一地點舉行大規模群眾遊行活動，若以這將近連續四天的慶典活動內容來看，筆者認為這次 80 周年黨慶應該是金正恩執政以來，規模最大的公開慶典活動。

而在這次的受校部隊當中，除了歷年固定出場的主要核心作戰與護衛單位之外，今年更首次出現「國境警備總局」、「社會安全特別機動隊」、「崔賢技術軍官學校」、「敵後山岳活動部隊」、「第 41 上陸突擊大隊」、「海外作戰部隊」等新的地面受校縱隊。⁴

其中值得注意的是首次對外公開的「海外作戰部隊」，這是由先前參加俄烏戰爭之後返國的實戰部隊所組成，由兩位旗手分別持北韓與俄國國旗通過閱兵台，⁵當時演奏的背景音樂為「為俄羅斯服務」。不同於其他的受校部隊，海外作戰部隊的單兵個裝類似俄國現役部隊，並使用俄製 AK-12 突擊步槍。帶領部隊接受校閱的指揮官是李昌鎬（Ri Chang-Ho）上將，⁶其正式職稱是「特殊作戰軍 海外作戰部隊 第一副司令官」，負責代表北韓部隊參加俄烏戰爭的指揮官，同時也兼任朝鮮人民軍陸軍副參謀長、偵查總局長等重要軍事特種作戰單位，曾經代表北韓出席觀禮莫斯科紅場閱兵。

而帶領「特殊作戰軍」受校縱隊的指揮官同樣也是參加過俄烏戰爭的全榮燦（Jeon Young-Chan）少將，⁷目前擔任特殊作戰軍參謀長，此人也曾經多次出現在金正恩慰勞海外作戰部隊軍官幹部的公

⁴ 如同先前北韓在夜間舉行的閱兵典禮，朝鮮中央電視（KCTV）透過旁白介紹所有受校縱隊的單位名稱和部分武器裝備型號，同時也介紹大部分受校縱隊指揮官的職級姓名。有關這次北韓閱兵的影片，請參考下列連結：〈美 타격 '화성-20 형' 첫 등장...北 열병식 실황 LIVE〉，《연합뉴스 TV》，2025 年 10 月 11 日，<https://reurl.cc/Db10ZR>。

⁵ 這應該是有紀錄以來，外國國旗第一次出現在北韓的閱兵典禮當中。

⁶ 〈北 열병식에 등장한 러시아 국기...리창호 정찰총국장 선두〉，《뉴스1》，2025 年 10 月 11 日，<https://www.news1.kr/photos/7535757>。

⁷ 〈미지의 北 파병군 장군 신원 첫 확인...'폭풍군단 참모장 전영찬'〉，《뉴스1》，2025 年 10 月 15 日，<https://www.news1.kr/nk/politics-diplomacy/5940621>。

開影片當中，並在這次閱兵典禮當中首次被公開姓名。

在閱兵典禮的前一天，朝鮮勞動黨中央書記李熙用（Ri Hi Yong）與統一俄羅斯黨事務總長弗拉基米爾·亞庫舍夫（Vladimir Yakushev）於10月9日會面，簽署共同聲明。⁸根據該聲明內容，俄國實際上等同公開支持北韓持續發展包含核武在內的戰略武器與國防力量，雙方對於歐亞大陸的緊張狀態、東北亞地區和朝鮮半島現況達成共識，反對「其他勢力」以武力改變前述地區的「和平與穩定」，這也是2018年兩國執政黨簽署交流協定之後，再次簽署更為具體的共同聲明，顯示朝俄兩國在黨、政、軍的多方面交流規模已更勝以往。⁹

二、「朝越關係」將邁向新的里程碑

根據這次北韓官方發布的公開畫面可以發現，這次在參加夜間閱兵的外國使節團規模明顯大於以往，北韓自從2021年開始改在夜間舉行閱兵典禮之後，甚少邀請外國訪團出席觀禮，也拒絕外國媒體採訪，僅在2023年2月8日的「建軍75周年紀念閱兵」邀請中俄武官與外交使節代表團，以及2023年9月8日「祖國解放戰爭勝利70周年紀念閱兵」邀請當時的俄國國防部長紹依古（Sergey Kyzhyget oglu Shoygu）出席觀禮。

而這次出席觀禮的外國訪團政要與使節有來自中國、俄國、越南、寮國、印尼、尼加拉瓜、墨西哥、赤道幾內亞、巴西、伊朗、委內瑞拉等共計11個國家。在這當中，等級最高的是越共總書記蘇林所率領的訪團，¹⁰北韓也以同樣的高規格接待蘇林的訪團，這也代

⁸ <조선로동당과 진로씨야정당 《통일로씨야》의 공동성명>, 《조선중앙통신》, 2025年10月9日, <https://shorturl.at/XnVXu>。

⁹ <러 최대정당 "북국방력 강화조치 지지"...사실상 북핵 용인 (종합)>, 《연합뉴스》, 2025年10月9日, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20251009054051504>。

¹⁰ 朝越兩國這次共簽署了2個諒解備忘錄、2個合作協議書、1個國防合作意向書，朝越兩國將在新聞媒體、健康保健、醫學科學、商業貿易、外交合作等方面進行合作。<‘조선 국가방문’ 맞이하여 월남-조선 사이의 합의서 서명식>, 《베트남

表「朝越傳統親善關係」即將邁向新的里程碑，¹¹因為自從 2018 年的朝美河內會談失敗之後，越南與北韓官方交流大幅減少，也未有太多的公開賀電或訪團交流。而這次越共總書記蘇林訪問北韓應可以看作是越南提升對韓半島局勢的重視，同時也是在提升蘇林在越南內部的形象，越南目前是北韓五大對外貿易國家之一，基於過去越戰和中越戰爭等歷史背景，以及兩國之間共同利益和情誼，越南或將會是中國與俄國之外的「第三條重要的外交軸線」。¹²

參、趨勢研判

一、北韓將持續導入實戰經驗精進軍事武力

從這次的受校縱隊當中可以發現，北韓的「特殊作戰軍」、「海外作戰部隊」的單兵個裝和槍械瞄具，皆明顯大幅改善。而這次疑似由各特種部隊組成的「狙擊手縱隊」，以及同時段官方對外播放的軍事宣傳短片內容可以發現，北韓狙擊手開始比照西方軍隊配發吉利服，使用狙擊鏡和相關輔助瞄具，進行小組協同作戰，同時也開始運用小型無人機進行偵查，這些都是前幾次閱兵典禮和公開影片所沒有的內容。¹³

除此之外，在隨後出現的自爆無人機受校縱隊，根據閱兵中展示的無人機機體、運載車輛造型與發射箱外觀，北韓可能參考了以色列 IAI 研發的哈洛普（Harop）自殺式無人機系統。此次北韓也首度對外公開展示無人機機體前方的鏡頭，研判北韓可能已透過俄國

픽토리알》，2025年10月11日，<https://shorturl.at/hg7rE>。

¹¹ 這是來自越南駐北韓大使的部分談話內容。〈월남-조선 전통적 친선관계의 중요한 이정표〉，《베트남 픽토리알》，2025年10月9日，<https://shorturl.at/2YuwL>。

¹² 北韓與當時的北越於1950年1月31日建交，目前正逢建交75周年，雙方預計未來將開啟政府、國會、地方團體等多方對話交流管道，分享經驗。北韓長期以來對越南的經濟革新經驗有相當的興趣，北韓或將透過越南，參與東南亞地區的論壇或交流。〈베트남-조선 관계 새로운 발전 단계로 진입 추진〉，《Vietnam.vn》，2025年10月10日，<https://shorturl.at/uO4NY>。

¹³ 〈北 열병식에 길리슈트 저격수부대, 다련장 자폭드론발사차량까지 재래식전력도 강화[정충신의 밀리터리 카페]〉，《문화일보》，2025年10月12日，<https://www.munhwa.com/article/11538618>。

技術援助以及俄烏戰場前線的實際運用獲得相關經驗，並正在逐漸整合自現有的部隊作戰體系當中，未來可能將逐步提升自身的無人機產製能力。¹⁴

另外，在這次閱兵典禮的後半段，北韓也對外公開展示「國防發展 5 年計畫」最終階段的研發成果。有關這次出現在閱兵典禮的導彈與長程武器受校縱隊計有「固定多連裝戰術誘導武器」、¹⁵「多用途放射炮與戰術誘導武器綜合體」、¹⁶「地對空飛彈」、¹⁷「地對地戰術彈道飛彈（火星-16B）」、「高超音速中長程彈道飛彈（火星-11E）」、¹⁸以及「新型洲際彈道飛彈（火星-20）」。¹⁹目前「火星-20」仍未有公開發射紀錄，僅在 9 月初進行過固態燃料發動機測試，近期可能會進行後續的試射。¹⁹

這次的北韓夜間閱兵典禮與前次最大不同的地方在於，部分對外展示的多款多管火箭與導彈已投入俄烏戰場，海外作戰部隊和部分特種作戰單位可能也已具備實戰經驗，或可能已對北韓的戰術概念和裝備運用產生影響。但即便如此，筆者認為這可能還僅限於部分核心作戰單位或忠誠度較高的特戰單位。

¹⁴ 〈“北, 군용드론 개발 진전...새로운 드론공장 건설”〉, 《SPN서울평양뉴스》, 2025年9月11日, <https://www.spnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=99181>。

¹⁵ 可能類似美軍的 MLRS，也就是中短程多管火箭發射系統，目測顯示每台發射車可攜帶 22 枚火箭。

¹⁶ 北韓可能參考了美國的 M142 多管火箭系統，也就是所謂的「海馬士」，目前北韓並未公開型號，也無法確定「北韓版海馬士」的內裝火箭類型。

¹⁷ 該型飛彈型號原文為「별찌-1-2」，本文在此暫譯為「流星-1-2」。可能參考了俄國的 S-400，目前為止北韓至少已進行了 5 次公開發射試驗，近期可能已發展出艦載型（崔賢艦）。參考文獻：〈北, 러시아 ‘S-400’ 개량형 ‘별찌-1-2형’ 지대공미사일로 순항미사일 요격시험〉, 《문화일보》, 2025年3月21日, <https://www.munhwa.com/article/11493089>；한호석, 〈[개벽예감 629] 원양함대 창설은 ‘최현호’ 에서 시작되었다〉, 《자주시보》, 2025年5月5日, <https://www.jajusibo.com/67720>。

¹⁸ 原文為「화성-11마」，採用高超音速滑翔機體設計，明顯是以突破韓國三軸體系為目的而設計，這將使韓國將難以攔截，北韓更或將以此對駐韓美軍基地或前線韓國部隊進行重點打擊。〈北 “극초음속 비행체 발사 성공” ... 사실이면 어렵다〉, 《조선일보》, 2025年10月24日, <https://shorturl.at/UJaLo>。

¹⁹ 韓國聯參議長陳永承大將於 2025 年 10 月 14 日在韓國國會的國政監察聽證會表示，「火星-20」的研發，可能有獲得俄國的技術支援。〈합참의장 “북 ICBM 화성-20 형, 러시아 기술지원 가능성 충분”〉, 《KBS 뉴스》, 2025 年 10 月 14 日, <https://shorturl.at/fCcUB>。

除此之外，目前參與俄烏戰爭的部分士官兵也開始陸續輪調回國，北韓政府也給予相當對應的「英雄待遇」，高度禮遇陣亡將士遺族，提供良好社會福利。而且從今年的10月1日開始到最近的閱兵典禮的過程當中，北韓多次強調海外作戰部隊「為國犧牲與奉獻」，過度的英雄化宣傳，作為北韓社會的凝聚力，降低住民對政府的不滿。²⁰

二、北韓將繼續以「準核武國家」的身分突破外交孤立

在這次的80周年黨慶閱兵典禮的前後，北韓在外交方面可謂成果豐碩。金正恩先後分別與寮國人民革命黨中央總書記宋倫（10月7日）、越南共產黨中央總書記蘇林（10月9日）、中國共產黨中央政治局常委李強（10月10日）、俄國統一俄羅斯黨主席梅德維傑夫（10月11日）進行雙邊會談。甚至在閱兵典禮結束之後，北韓與中國、俄國、印尼等國高層進行會晤。

其中值得注意的是朝鮮勞動黨中央政治局常委，同時也是北韓內閣總理的朴泰成（Pak Thae Song）與李強在10月11日會面的時候，公開向李強表示支持中國處理台灣問題的立場，²¹這也是繼金正恩於9月2日在北京與習近平進行會談之時，首次公開支持中國領土主權完整之後，北韓官方第二次且更為具體的表達立場，這部分也反映出北韓可能是以朝俄的「戰略交換」經驗，同樣運用在朝中關係，藉由相互承認或支持彼此雙方各自在某些特定議題的立場，以此獲得相對應的協助與利益。

另一方面，北韓外務相崔善姬與印尼外交部長蘇吉約諾（Sugiono）也在10月11日進行會面，²²並簽署兩國合作備忘錄，在

²⁰ 임수진, 〈북한의 러시아 참전군 ‘영웅화’ 전략〉, 《이슈브리프》(740호, 2025年10月1日), 頁6。

²¹ 〈北 박태성, 中 리창 만나 “대만 문제 中 입장 확고히 지지”〉, 《뉴스1》, 2025年10月12日, <https://www.news1.kr/nk/politics-diplomacy/5937841>。

²² 〈북과 ‘기술 협력’ 인니...정부 특별고문 “미사일·군사 기술 이전 기대”〉, 《SBS NEWS》, 2025年10月28日, <https://shorturl.at/uizK6>。

國防與技術領域將有更進一步的合作。不同於特意避開聯合國對朝經濟制裁項目的越南，印尼選擇就國防產業與北韓建立合作關係，特別是在飛彈系統與軍工技術方面，印尼計畫派遣專家前往北韓進行技術交流。不過此部分涉及到了聯合國制裁規定，也可能會引起美國在關鍵零件或技術的管制，也有可能會影響到原本與韓國之間的國防產業合作。此次印尼外交部長訪問北韓，亦可看作是去年 3 月朝鮮勞動黨國際部長金成男訪問印尼之後的回訪，而印尼同樣也是目前少數與北韓互設大使館的邦交國。

綜觀上列所述，此次的北韓 80 周年黨慶紀念閱兵在軍事與外交方面獲得了雙重效果，在國內政治方面，藉由多項重大政治慶典活動和外交成果，集中內部群眾注意力，分散不滿情緒，同時以「共和國英雄」的待遇，高度禮遇海外歸國士官兵，穩定軍心。

在外交領域方面，北韓此次對外展示的戰略武器也顯示出北韓已具備相當成熟的火箭發射技術，同時也具有攜帶核彈頭的火箭研發與製造能力，「韓半島核武化」已成為不可逆的情況。這次的閱兵典禮，也不再只是「對內政宣」的內部表演，而是在外交領域展現自信的行為，以準核武國家自居，在眾多外賓訪團面前展示其軍事力量。北韓這次也與部分東協會員國，重啟金日成時代之後已停滯多年的傳統友誼關係，在既有的朝中俄關係之外，開闢新的多邊外交軸線，²³分散對中俄的過度依賴與風險。

同樣的，部分東協會員國在湄公河流域和南中國海與中國仍有紛爭，而這些國家在這個時候恢復與北韓的交流，可能是基於戰略考量，²⁴試圖在美中之間形成「對沖（Hedging）策略」。²⁵

²³ 반길주, 〈북한의 열병식 정치: 노동당 창건 80 주년 행사를 통해 본 북한의 셈법과 대응방안〉, 《IFANS FOCUS》(2025-35K, 2025 年 10 月 14 日), 頁 7。

²⁴ 例如 10 月 9 日的朝越峰會，根據越南官方媒體報導，越共總書記蘇林表示北韓尊重 1982 年聯合國海洋法（UNCLOS）和相關國際法規，緩和緊張局勢，依照國際法的判決解決紛爭，「北韓支持越南在這方面所做的努力」。相關資訊請參閱註釋 12。

²⁵ 東南亞國家與北韓在政治經濟文化方面，實際上短期之內很難獲得實質利益。與北韓締結全

方面的戰略夥伴關係也不符合現實政治考量。因此，除了參加上海合作組織（SCO）、金磚國家（BRICS）之外，是以較少的風險，在特定領域與北韓交流，未來在韓半島局勢方面，扮演「調解與參與」的功能，可在美中之間形成一定的協商空間，應該是較為合理的考量。
參考文獻：이재현, 〈동남아 국가들의 북한 노동당 창건 행사 참여의 의미〉, 《IFES BRIEF》(2025-26, 2025年10月23日), 頁6-7。

美澳礦物協議下的戰略資源新局

劉翎端

國防戰略與資源研究所

焦點類別：國際情勢

壹、前言

2025年10月下旬，美國與澳洲雙方簽署《美澳關鍵礦物與稀土開採加工供應保障框架》（*United States-Australia Framework For Securing of Supply in the Mining and Processing of Critical Minerals and Rare Earths*），顯示兩國在戰略資源合作之擴展與深化。此協議建立於兩國既有政策基礎上，亦即澳洲於2025年4月設立之「關鍵礦產戰略儲備」（Critical Mineral Strategic Reserve），以及美國強化自身關鍵礦物軍工業需求與儲備基礎設施，旨在提升關鍵礦物供應鏈韌性與安全，特別是國防與高科技製造等領域，以抗衡中國欲主導且壟斷稀土市場之企圖。¹

此協議將運用雙方政府與私部門資源，於簽署後六個月內投入至少10億美元融資，推動美澳境內可優先解決關鍵礦物供應鏈缺口之策略專案，包含其股權資本投資、保險貸款與營運支出等項目，此外將簡化與加速礦物開採與加工許可流程，與國際夥伴合作建立定價機制，以因應不公平貿易或非市場干預，亦將加強審查並遏止有國安疑慮的礦物資產交易。²

貳、安全意涵

一、關鍵礦物納合作範疇強化美澳安全與貿易夥伴關係

¹ “United States-Australia Framework For Securing of Supply in the Mining and Processing of Critical Minerals and Rare Earths,” *The White House*, October 20, 2025, <https://reurl.cc/VmXnYy>.

² *Ibid.*

本協議將礦物納入美澳雙邊之戰略合作範疇，進一步鞏固並延續兩國長期以來的國防與貿易夥伴關係。在美國所列高達 50 餘項的關鍵礦物中，澳洲即生產 43 項，此外亦擁有全球頂尖的礦業工程教育資源與礦業資本市場，為美國建立礦物供應鏈安全的關鍵盟友。³ 美國與澳洲在關鍵礦產領域的合作，核心目的之一為擺脫對中國稀土供應的高度依賴。目前中國掌握全球約七成的稀土開採量、九成以上的稀土提煉能力，並在過往多次外交爭端中，以稀土出口管制作為戰略籌碼，而美國在軍事、航太、電子與清潔能源領域對稀土的需求極高，然其國內加工提煉能力有限，導致供應鏈極度脆弱。⁴

中國自 2020 年起推動「雙循環」政策，欲使中國不依靠他國，但讓世界更為依賴中國，例如中國近年對日本與美國的稀土出口管制，則凸顯其將戰略資源作為經濟脅迫手段，而美澳合作的目標即是建立不受中國操控的供應鏈，建立多元且穩定的關鍵礦物原料與加工產品來源，以提升盟國的自給自足能力。⁵ 澳洲擁有豐富的稀土礦藏，尤其在西澳地區，其稀土儲量與品質皆具全球競爭力，另外與中國相比，澳洲的環境管理制度與法規透明度較高，能使礦物提煉過程符合國際標準，降低環境、社會與治理風險。⁶

二、美澳協議可帶動民主國家主導之關鍵礦產新布局

美澳關鍵礦物協議不僅強化雙邊資源合作，更展現民主國家可

³ “Why is Australia Crucial in Countering China’s Mineral Dominance? Mapping Minerals Diplomacy,” *Center for Strategic and International Studies (CSIS) YouTube Channel*, August 27, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=Bhs6O8jTHMI>.

⁴ Melanie Burton, “US-Australia Rare earths Deal is A Start but Won’t Shake China Dominance Any Time Soon,” *Reuters*, October 21, 2025, <https://www.reuters.com/world/china/us-australia-rare-earth-deal-is-start-wont-shake-china-dominance-any-time-soon-2025-10-21/>.

⁵ “The Future of U.S.-Australia Critical Minerals Cooperation,” *Center for Strategic and International Studies (CSIS)*, August 20, 2025, <https://www.csis.org/analysis/future-us-australia-critical-minerals-cooperation>; 劉孟俊、鄭至涵，〈解析中國大陸「雙循環與新基建」戰略〉，《兩岸經貿月刊》第 364 期，2020 年 10 月，<https://www.sef.org.tw/list-1-131?q=%2663686172423035%3D11520>。

⁶ Andrew Tunnicliffem, “Western Australia Positions Itself in the Rare Earth Race,” *Mining Technology*, August 18, 2025, <https://www.mining-technology.com/analysis/western-australia-positions-itself-in-the-rare-earth-race/?cf-view>.

透過串聯理念相近國家之資源聯盟，來重塑全球供應鏈的新布局。近年在中國屢次施以關鍵礦物或稀土出口限制，民主國家陣營意識到建立可信任且安全供應鏈之迫切性，美澳協議正是此趨勢之具體實踐，並可為歐盟、日本、南韓、加拿大與英國等其他民主國家提供合作模式參考：即以雙邊與多邊合作，建立穩固的供應鏈網絡，降低敵對國勢力在戰略資源產量或價格上之操控影響。⁷此不僅為經濟合作，更是民主自由價值與維護健全市場機制運作之聯盟，顯示全球關鍵礦物供應鏈將從追求低價成本，轉為更著重安全與韌性層面之導向。⁸

在資源管理制度層面上，美國亦得藉此協議契機再次檢視並調整國內礦業政策，包括簡化礦業開採許可申請流程、提供價格補貼，以吸引企業投入關鍵礦物開採加工及相關基礎建設。澳洲則可透過美方資金與技術，提升本國礦業附加價值，並持續強化其在全球關鍵礦物供應鏈所扮演的重要角色。

參、趨勢研判

一、美澳打造稀土價格防線以對抗中國傾銷

在美澳礦物合作協議中，「價格下限」(price floor) 政策成為對抗中國傾銷關鍵礦物與稀土產品的重要策略，例如 2025 年 7 月美國國防部與美國稀土礦商 MP Materials 簽訂合作案，宣布 10 年鈹鐳產品價格下限為每公斤 110 美元之當日，澳洲稀土礦商如萊納斯 (Lynas Rare Earths) 與伊盧卡資源 (Iluka Resources) 等公司股價即

⁷ “US and Australia Sign Rare Earths and Critical Minerals Agreement,” *Mining Technology*, October 21, 2025, <https://www.mining-technology.com/news/us-and-australia-sign-rare-earths-deal/>; Latika M Bourke, “Australia and the United States Should Expand Critical Minerals Deal to Include G7 Nations,” *The Nightly*, October 30, 2025, <https://thenightly.com.au/politics/latika-m-bourke-australia-and-the-united-states-should-expand-critical-minerals-deal-to-include-g7-nations-c-20515456>.

⁸ Isabel Cane, “How the Australia-US Minerals Framework Redefines Allied Industrial Strategy,” *The Diplomat*, October 27, 2025, <https://thediplomat.com/2025/10/how-the-australia-us-minerals-framework-redefines-allied-industrial-strategy/>.

出現顯著上漲，顯示出價格下線的設定不僅能穩定市場預期，更能提升投資者信心且促進長期資本投入，有利於西方盟國建立「非紅供應鏈」，降低中國以低價產品傾銷市場的負面影響。⁹

美澳政府亦正積極擬訂多樣定價公式，目標是為關鍵礦務產品提供穩定的價格預期，吸引更多投資機會與擴大產能，而這些政策也得到「七大工業國集團」(G7)「與四方安全對話」(Quad)等多邊機制的支持，而美澳與其他盟國的政府與礦產相關企業，亦開始重視長期合約與穩定價格機制的重要性。¹⁰

二、美澳協議將成為多邊資源治理趨勢

本次美澳關鍵礦物協議具擴展與示範性質，可吸引其他民主國家仿效，形成跨國資源合作網絡，若能進一步建立共同標準、認證機制與資訊共享平台，將有助於提升全球資源治理的透明度，例如：推動認證符合環保與人權標準的礦產來源標章，提升市場信任與消費者意識，有助於打擊非法採礦與資源操控，並促進公平貿易與永續發展。¹¹美澳可在此扮演制度設計與國際協調的領導角色，推動全球資源治理朝韌性與安全價值導向來發展。

美澳亦展現與歐盟、日本、加拿大等理念相近夥伴就關鍵礦物進行定價協調與貿易標準之企圖，例如擬透過 G7 等平台設定稀土價格底線，可望擴展為更廣泛的合作夥伴架構：日本具備先進加工技術，韓國擁有成熟工業規模，印度則展現快速增長的需求與戰略契

⁹ “US, Australia to Invest \$2 Billion in Critical Minerals, Advance Alcoa Gallium Project,” *Reuters*, October 21, 2025, <https://www.reuters.com/business/us-australia-invest-2-billion-critical-minerals-advance-alcoa-gallium-project-2025-10-20/>; Peter Ker and Mark Wembridge, “Rare Earths ‘Floor Price’ Will Lift All Boats: Iluka,” *The Australian Financial Review*, August 20, 2025, <https://www.afr.com/companies/mining/rare-earths-floor-price-will-lift-all-boats-iluka-20250820-p5mofz>.

¹⁰ “The Future of U.S.-Australia Critical Minerals Cooperation,” *Center for Strategic and International Studies (CSIS)*, August 20, 2025, <https://www.csis.org/analysis/future-us-australia-critical-minerals-cooperation>.

¹¹ “UNICRI’s Strategic Response Framework for Tackling Crimes Linked to Critical Minerals,” *United Nations Interregional Crime and Justice Research Institute*, September 24, 2024, <https://issuu.com/unicri/docs/strategic-response-framework-tackling-crimes-criti>.

合度，澳洲作為區域資源樞紐，美國提供技術與市場，其他礦物資源國如印尼、越南亦可加入，形成多層次與多元的關鍵礦物供應鏈網絡，此種整合不僅提升區域競爭力，也可引領全球建立制度化、多邊化的關鍵礦物資源治理新秩序。¹²

¹² Julia Payne and Divya Rajagopal, “Exclusive: G7 Weighs Price Floors for Rare Earths to Counter China’s Dominance, Sources Say,” *Reuters*, September 25, 2025, <https://www.reuters.com/world/china/g7-weighs-price-floors-rare-earths-counter-chinas-dominance-sources-say-2025-09-24/>; John Coyne, “On US Critical Minerals Cooperation, Canberra Gets It Right,” *ASPI*, October 21, 2025, <https://www.aspistrategist.org.au/on-us-critical-minerals-cooperation-canberra-gets-it-right/>.

蜂群、AI 與跨域：無人機戰爭新典範的全球安全挑戰

唐明華

國防戰略與資源研究所

焦點類別：作戰概念、戰爭模式、軍事科技

壹、前言

自 2022 年俄烏戰爭以來，無人系統作戰成為全球觀察現代戰爭轉型的「實戰實驗室」。烏克蘭以自主水面載具與低成本第一人稱視角無人機（FPV）展現「廉攻—貴防」的顛覆效應，證實了低成本、可消耗的精準打擊力量，正從根本上改變戰場的經濟邏輯¹與作戰節奏。

此現象標誌著戰場生態的深層轉變：作戰重心已由平台導向轉為「網絡化協同、可消耗戰力、跨域整合」的體系對體系競爭。與此同時，中國人民解放軍推進所謂「智能化作戰」，強調以 AI 驅動的無人平台與衛星、電子戰、反艦打擊結合成「殺傷網」（kill web），以壓縮敵方決策時間，並施加多域壓力。²

基於上述觀察，本文主張一種結合蜂群化、AI 自主化與跨域整合的新戰爭典範（New Paradigm of Warfare）正在成形；該典範不僅侵蝕傳統強權對高價值資產的防護優勢，也為小國與非國家行為者提供前所未有之戰略槓桿。下文將探討此典範之安全意涵與趨勢研判，並提出對台灣無人機運用之政策啟示。

¹ 本文所指的「經濟邏輯」是一個宏觀且具系統性的概念，不僅指「成本效益結構」（如攻防交換比）的變化，更涵蓋隨之而來的三重轉變：一是生產邏輯，由追求昂貴精密的平台轉向大量、低成本、易補充的裝備，凸顯工業動員與供應鏈韌性的重要性；二是消耗邏輯，作戰模式傾向容許高頻試錯與持續損耗，形成可長期支撐的消耗戰；三是防禦邏輯，防守方在面對低成本、高飽和威脅時，陷入攔截成本過高、經濟不可持續的困境。

² Kevin Pollpeter and Amanda Kerrigan, *The PLA and Intelligent Warfare: A Preliminary Analysis*, CRM-2021-U-030806-Final (Arlington, VA: CNA, 2021), pp. 3-9. <https://www.cna.org/reports/2021/10/The-PLA-and-Intelligent-Warfare-A-Preliminary-Analysis.pdf>.

貳、安全意涵

新典範已超越單純的武器進化層面，成為影響全球安全架構、戰略穩定與國防體系的結構性挑戰。本處從四個面向加以剖析：成本不對稱（Cost Asymmetry）、權力擴散（Power Diffusion）、戰場邊界消弭（All-Domain Convergence），以及模糊性戰爭（Gray-Zone Intensification），以揭示其對戰略穩定與嚇阻結構的深層影響。

一、成本不對稱與防禦困境

無人作戰新典範的核心挑戰，在於其低成本、高可製造性與可擴散性。攻擊方能藉由大規模飽和攻擊，削弱防禦體系的經濟承受力，使防守方陷入「廉攻—貴防」的長期結構性劣勢。³若攻擊單位成本（ $E[\text{Cost_attack}]$ ）⁴遠低於防禦攔截成本（ $E[\text{Cost_defend}]$ ）⁵，且攻擊頻率高、供應鏈穩定，則防禦方之總體消耗將呈超線性成長。在彈藥耗損、補給週期與維修負荷的共同作用下，防空體系最終將在經濟上被逐步耗盡。

以美國戰略暨國際研究中心（Center for Strategic and International Studies, CSIS）估算為例，一架沙赫德（Shahed）無人機造價僅約 2 萬至 5 萬美元，而現代防空攔截導彈之成本常高出數倍甚至數十倍。⁶此一攻防成本落差構成「成本交換劣勢」，即使防禦方具備技術優勢，亦難在長期消耗戰中維持經濟可持續性。

在理論層面，這種不對稱結構正持續侵蝕傳統「拒止式嚇阻」

³ Benjamin Jensen and Yasir Atalan, “Drone Saturation: Russia’s Shahed Campaign,” *Center for Strategic and International Studies*, May 13, 2025, accessed October 20, 2025, <https://www.csis.org/analysis/drone-saturation-russias-shahed-campaign>.

⁴ $E[\text{Cost_attack}]$ ：攻擊方每單位載具（如無人機、飛彈、彈藥）之平均成本的期望值。表示攻擊方在統計上「打一發」所需的平均花費。

⁵ $E[\text{Cost_defend}]$ ：防禦方攔截一單位攻擊（例如發射一枚攔截彈）所需的平均成本期望值。表示防禦方為每次防禦出手所支付的平均開支。

⁶ Neil Hollenbeck, Muhammed Hamza Altaf, Faith Avila, Javier Ramirez, Anurag Sharma, and Benjamin Jensen, “Calculating the Cost-Effectiveness of Russia’s Drone Strikes,” *Center for Strategic and International Studies*, February 19, 2025, <https://www.csis.org/analysis/calculating-cost-effectiveness-russias-drone-strikes>.

(Deterrence by Denial) 的有效性。⁷一旦攔截成本超出可承受閾值，防禦方的嚇阻能力將失去穩定性與持久性，迫使國家戰略轉向「懲罰式嚇阻」(Deterrence by Punishment) 或先制壓制手段。⁸此一轉變挑戰了傳統戰略穩定的經濟基礎，並預示未來衝突的勝負，將取決於成本效率與供應鏈韌性的全面較量，而非單純火力投射能力。

二、權力擴散：空權的普及化與非對稱威脅

無人作戰新典範的第二項結構性變遷，在於空權的普及化 (Democratization of Air Power) 與權力的去中心化。隨著商規現貨技術 (Commercial Off-The-Shelf, COTS) 與開源軟硬體的快速擴散，原本僅為大國與正規軍所壟斷的空中偵察與打擊能力，正以前所未有的速度，向中小型國家與非國家行為者 (Non-State Actors) 外溢。⁹此趨勢不僅降低了進入門檻，也正在重塑全球軍事權力的分布結構，使空權由少數國家專屬的戰略資產，轉變為多主體共享的作戰能力。

在葉門與中東衝突中，胡塞武裝 (Houthi Armed Group) 多次以改裝商用無人機，攻擊沙烏地阿拉伯之石油設施與輸出管線，展現以低成本平台對抗高價戰略目標的「成本交換優勢」。¹⁰同樣地，

⁷ 「拒止式嚇阻」的目標是讓攻擊變得徒勞 (futility of attack)，而非單純讓攻擊變得昂貴。例如，以色列「鐵穹」(Iron Dome) 系統，屬典型拒止式嚇阻機制，以高攔截率維持民眾信心與政治穩定；但因每次攔截成本高昂 (Tamir 攔截飛彈約 US \$40k-\$100k vs Hamas 火箭每枚 \$800-\$2000)，面臨長期經濟可持續性挑戰。

⁸ Michael J. Mazarr et al., *Disrupting Deterrence: Examining the Effects of Technologies on Strategic Deterrence in the 21st Century* (Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2022), pp. 50-53 https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RRA500/RRA595-1/RAND_RRA595-1.pdf.

⁹ Haugstvedt, Håvard, and Jan Otto Jacobsen, "Taking Fourth-Generation Warfare to the Skies? An Empirical Exploration of Non-State Actors' Use of Weaponized Unmanned Aerial Vehicles (UAVs-'Drones')," *Perspectives on Terrorism*, Vol. 14, No. 5, October 2020, pp. 26-40.

¹⁰ Dulligan, Jake, Laura Freeman, Austin Phoenix, and Bradley Davis, "The Rising Threat of Non-State Actor Commercial Drone Use: Emerging Capabilities and Threats," *CTC Sentinel*, March 2025, pp. 39-44, <https://ctc.westpoint.edu/the-rising-threat-of-non-state-actor-commercial-drone-use-emerging-capabilities-and-threats/>.

2020 年納戈爾—卡拉巴赫 (Nagorno-Karabakh) 戰爭中，亞塞拜然 (Azerbaijan) 運用土耳其製 Bayraktar TB2 與以色列 IAI Harop 自殺式無人機，成功摧毀亞美尼亞 (Armenia) 防空雷達、砲兵與裝甲車輛，迅速扭轉戰場優勢。¹¹ 這些實證顯示，非對稱空中力量 (asymmetric air power) 正成為新世代衝突的顯著特徵：以數百美元的無人載具，即可癱瘓造價數百萬美元的設施與防空體系，徹底顛覆傳統防禦的經濟邏輯。¹²

更具深遠意涵的是，無人系統的擴散正在模糊「軍民界線」與「合法作戰主體」之間的界限。商用零組件與全球供應鏈的開放，使民用科技與軍事用途日益難以區分，促成軍民兩用技術 (Dual-Use Technology) 與灰色市場轉用的加劇。綜觀而言，空權的普及化與權力擴散的加速，削弱了傳統強權的壟斷優勢，並標誌未來戰爭主導權的轉變：從「國家間力量平衡」轉向「多主體間的技術與組織競爭」。這不僅是戰術變化，更是全球安全治理邏輯的一場根本性重構。

三、戰場邊界消弭：全域作戰的常態化

在新典範下，傳統線性「殺傷鏈」(kill Chain) 正被動態、分散且具冗餘性 (Redundancy) 的「殺傷網」(kill Web) 所取代。與線性鏈條不同，殺傷網允許多個感測、決策、打擊節點 (Sensors, Decision, Shooters) 並行運作、動態重組並互為備援，從而提升系統整體效率與韌性。¹³ 然而，高度連結亦帶來新型脆弱性：節點間即時

¹¹ Gustav Gressel, "Military Lessons from Nagorno-Karabakh: Reason for Europe to Worry," *European Council on Foreign Relations*, November 24, 2020, <https://ecfr.eu/article/military-lessons-from-nagorno-karabakh-reason-for-europe-to-worry/>.

¹² Neil Renic, "Air Power by Small, Low-Cost Drones: Implications for Future Warfare," in *Advancing the Force in New Frontiers: The Air Power Journal*, 4th ed. (2024), chap. 9, <https://theairpowerjournal.com/air-power-by-small-low-cost-drones-implications-for-future-warfare/>.

¹³ 如美國國防高等研究計劃署 (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) 近年來提出的「馬賽克戰爭」(Mosaic Warfare) 核心作戰構想。See Nicholas A. O'Donoghue, Samantha McBirney, and Brian Persons, *Distributed Kill Chains: Drawing Insights for Mosaic Warfare from the Immune System and from the Navy* (Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2021), pp. 11-12, 29-30,

資料流，加劇識別與協調成本，資訊過載、通信瓶頸與電磁 / 網路干擾 (EW/Cyber) 成為可能的失效來源。

美國國防部在其「全域聯合作戰指管」(Joint All-Domain Command and Control, JADC2) 構想中，以「感知、理解、行動」(Sense, Make Sense, Act) 框架，強調在抗干擾、多域對抗環境下維持決策優勢的重要性。JADC2 旨在建立跨軍種、跨領域的協同指揮網絡，使指揮官能即時匯聚多源情報，並編排多域火力。¹⁴

實務上，烏克蘭戰場已呈現殺傷網的若干典型樣態：地面偵搜隊、長航時偵察無人機、衛星通訊鏈路 (Commercial LEO Services)、遠程精準火箭系統 (HIMARS) 與低成本 FPV 無人機等，可對同一目標座標，形成同步或序列化打擊。在此架構下，「偵測、識別、打擊」的時間窗被大幅壓縮至秒級或十秒級，單一軍種的防線，容易在極短時間內被穿透或癱瘓。¹⁵

因此，殺傷網雖提升聯合作戰效能，卻同時要求更高等級的韌性化 C2 設計、多重備援通道與優化的資訊篩選機制，才能在維持速度優勢的同時，減緩其系統性風險。

四、模糊性戰爭：灰色地帶衝突的加劇

無人機作戰不僅改變前線形態，亦將威脅滲透至國家戰略縱深，顯著加劇「灰色地帶衝突」的強度與歸因難度。以烏克蘭對俄羅斯本土的若干襲擊為例，攻擊者並非常態性從邊界直接發起，而常採用類似「現代特洛伊木馬」的滲透模式：利用民用貨運、卡車或商業物流，將拆解後的無人機零組件秘密運入目標國內，再由潛

<https://www.rand.org/t/RRA573-1>.

¹⁴ Office of the Secretary of Defense, "DoD Announces Release of JADC2 Implementation Plan," *U.S. Department of Defense* (press release), March 17, 2022, <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/2970094/dod-announces-release-of-jadc2-implementation-plan/>.

¹⁵ Matthew P. Pavlak, "Joint All-Domain Kill Webs," *Marine Corps University Press*, October 2023, <https://www.mca-marines.org/wp-content/uploads/Pavlak-Oct23.pdf>.

伏單位在隱蔽地點完成組裝與發射，形成類蜘蛛網（Spider-Web）式的境內發起（In-Country-Launched）攻擊。

此類模式在戰術上具有高度破壞力，能繞過以邊界為基礎的外圍防空體系，直接打擊後方薄弱節點；在戰略與法律層面，則透過製造「歸因模糊性」（Ambiguity of Attribution）來削弱目標國之外交與軍事回應意願與效率。這種高度隱蔽、難以歸責的打擊方式，本質上屬於混合戰技術的延伸，對國家內部安全、邊境管控與反情報構成新型系統性挑戰。

近年的「公開來源情報」（Open Source INTelligence, OSINT）與戰場取證顯示，若干行動採用「零件分散輸送—境內組裝—掩蔽發射」的鏈式作法，藉由商業供應鏈與日常物流降低偵測機率，進一步暴露出傳統空防與邊境防護模式的結構性弱點。¹⁶

參、趨勢研判

一、蜂群化（Swarming）：從「菁英平台」邁向「飽和消耗作戰」

以少量、昂貴、高性能作戰平台為核心的傳統建軍思想，正受到「蜂群」作戰的嚴峻挑戰。未來的典型作戰模式，可能是由一架大型空中平台（無論有人或無人）作為「蜂巢」（Hive），在戰區安全距離外，釋放出成百上千架具備偵察、電子干擾、自殺攻擊等不同功能的廉價、可消耗無人機，對敵方防禦體系發動多維度的飽和攻擊。戰爭更強調消耗戰，工業生產與快速補充能力，其重要性將再次凸顯。

二、智能化（Intelligentization）：從「遠端遙控」邁向「AI自主作戰」

¹⁶ Nath, Sanstuti, ed. “‘Drones Hidden In Trucks’: How Ukraine Struck 5 Airfields Deep Inside Russia,” *NDTV*, June 2, 2025, Accessed October 22, 2025, <https://www.ndtv.com/world-news/inside-ukraines-op-spiders-web-how-drones-hit-5-airfields-inside-russia-8565523>.

未來戰場的主角將是 AI 驅動的「自主作戰代理人」(Autonomous Agents)。戰爭的勝負，將不僅取決於硬體平台的性能，更取決於 AI 軟體的優越性，即演算法的先進程度。指揮作戰的主流模式，正由人類直接操控的「人在迴路中」(Human-in-the-Loop, HITL) 逐步轉向由人類進行授權與監督的「人在監督層」(Human-on-the-Loop, HOTL) 架構。人類在自動化決策系統中介入層級，如下表。

表 1、人類在自動化決策系統中介入層級¹⁷

類型	英文	美國防部 2023 年版《Directive 3000.09》對應說明
人在迴路中	Human-in-the-Loop (HITL)	對應 semi-autonomous weapon system： 啟動後，系統僅能攻擊由操作員明確選定的個別目標；人類直接掌控每一決策與行動步驟（如目標確認、開火授權）。
人在監督層（迴路之上）	Human-on-the-Loop (HOTL)	對應 operator-supervised autonomous weapon system： 系統可自行搜尋與交戰，但必須設計成使操作員能即時監督、介入與中止行動；操作介面應清楚顯示系統狀態並提供停用程序。
人不在迴路中	Human-out-of-the-Loop (HOOTL)	對應 autonomous weapon system： 系統啟動後可在無須後續人類即時干預下獨立選擇並攻擊目標。然而，系統仍必須設計成允許操作員在必要時能中止其行動；且其決策邏輯（人工判斷）須在設計階段就確保符合法律與倫理要求。

資料來源：作者依美國防部 2023 年版 *Directive 3000.09* 自行綜整。

三、體系化 (Systemization)：從「單一領域」邁向「體系整合打擊」

¹⁷ 此原則明確劃定人機互動的倫理與技術邊界：AI 系統得以在戰術層級執行高強度、快速循環的決策任務，但人類在作戰鏈中仍保留「判斷、授權與中止」三重角色。See U.S. Department of Defense, *Directive 3000.09: Autonomy in Weapon Systems* (Washington, DC: Department of Defense, January 25, 2023), pp. 3-6, 21-23, <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodd/300009p.pdf>.

未來的無人機作戰將是高度整合的「體系對體系」對抗。決勝關鍵在於，能否將所有分散在不同領域的無人作戰單元，透過高韌性的數據鏈與 AI 指揮網絡，整合成一個能夠自我協調、分工合作的有機整體。這個整體將能對敵方發動難以預測、無從防禦的多維度打擊，在敵方決策體系崩潰前，摧毀其作戰意志與能力。

四、政策啟示：新典範下的戰力平衡

無人機作戰新典範的崛起，無疑是本世紀以來最重大的軍事變革之一。然而，在擁抱此一新興作戰能力的同時，決策者必須避免陷入「唯無人機論」的戰略誤區。無人機開創了戰爭的新樣態，但它並非解決所有軍事問題的「萬能鑰匙」。它仍然無法完全取代傳統主力平台的核心功能：航空母艦無可比擬的戰略投射與威懾能力、最新世代主力戰機爭奪全面制空權的角色、重型火砲與多管火箭系統的持續性火力壓制，以及裝甲部隊在地面戰中佔領與固守陣地的決定性作用。

因此，真正的致勝關鍵，並非在「無人機」與「傳統平台」之間做出非此即彼的取捨，而是要將兩者進行高效的「融合」（Fusion）。未來的強大軍隊，必然是一個能讓有人與無人平台無縫協同作戰（Manned-Unmanned Teaming, MUM-T）的智慧化作戰體系。對台灣而言，在資源有限的條件下，全力發展不對稱的無人機戰力是絕對正確的戰略方向。但其最終目的，應是將這些不對稱戰力作為「戰力倍增器」與「體系黏合劑」，深度融入現有的防衛作戰體系，藉此強化整體防衛的韌性與致命性，而非取代不可或缺的傳統基石戰力。唯有在充分理解其互補關係的基礎上，進行均衡投資與前瞻性的體系整合，方能真正應對未來戰爭的嚴峻挑戰。

台灣如何將「大量無人載具」從戰術武器變成「拒止能力（denial capability）」？核心要素是將其融入一套多層、可持續、與

跨域的作戰體系。此體系的建立，基於以下環環相扣的六大面向：

（一）規模經濟與分散式作戰

核心在於利用「可負擔的耗損」(Affordable Attrition)所帶來的數量優勢，發動飽和攻擊，以獵殺或癱瘓敵方的高價值資產（如兩棲登陸艦隊、主力作戰艦、預警機等），創造決定性的「不對稱戰損交換比」。此戰略的基石在於：彈性化大規模生產（Flexible Mass Production）及廣域分散部署（Wide-Area Dispersal）。

（二）分層拒止與成本轉嫁

建立一個由「高低配」組成的多層次「偵—打—防」體系。其戰略目的在於「成本轉嫁」(Cost Imposition)，迫使敵方必須消耗極其昂貴的飛彈或防空資產，來應對我方無處不在的低成本威脅，從而保護我方如戰機、主力艦、愛國者、天弓等高價值戰略資產。其作法：分層拒止（攻）¹⁸及分層防禦（守）。¹⁹

（三）全域感知與韌性指管

將傳統「感測—決策—打擊」的線性閉環（Sensor-to-Shooter Loop），轉型為去中心化、網狀結構的「全域殺傷網」(All-Domain Kill Web)。面對敵方強大的電子戰與網路攻擊，此系統必須具備高度「失效可操作」(Fail-Operational)。關鍵在於：韌性化 C2 (Resilient C2)²⁰以及 AI 賦能決策 (AI-Enabled Decision-Making)。

¹⁸ 分層拒止（攻），在外層（海峽中線至近岸），使用中長程無人機與無人海艇（USV）進行偵搜與打擊；在近岸與灘岸，則部署大量低成本的 FPV、遊蕩彈藥（loitering munitions），對登陸船團進行飽和攻擊。台灣近年加速發展無人海艇（如 Manta 計畫）即是此一方向。參考：〈奮進魔鬼魚號無人艇〉，《維基百科》，2025 年 10 月 24 日（存取），<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%A5%AE%E9%80%B2%E9%AD%94%E9%AC%BC%E9%AD%9A%E8%99%9F%E7%84%A1%E4%BA%BA%E8%88%B9>。

¹⁹ 分層防禦（守），以機砲型近程防禦系統（CIWS）、近程攔截器、甚至反無人機無人機（Counter-Drone Drones）來應對敵方第一波的無人機/飛彈飽和攻擊，避免高價飛彈過早耗盡。

²⁰ 韌性化 C2 (Resilient C2)，利用「低軌衛星」(LEO) 通訊（如星鏈或台灣自主計畫）建立「去中心化」(Decentralized) 與「網狀化」(Meshed) 的指管系統，確保在部分節點被摧毀或干擾時，系統仍能運作。

(四) 供應鏈安全與自主可控

確保無人載具在戰時能「可持續性」的量產與補充，是打贏消耗戰的工業基礎。必須建立一個「安全、自主、可控」的國防工業生態系：故必須：供應鏈去風險化（De-Risking & Diversification）、模組化與開放架構（Modular & Open Architecture）、以及關鍵技術自主化（Domestic Autonomy in Key Tech）。

(五) 整合性嚇阻：軟殺傷與上游抑制

將作戰思維從「被動防禦」轉向「主動抑制」，透過非動能（Non-Kinetic）手段與源頭打擊，將成本與風險反壓回攻擊方。手段包含：整合電子戰（軟殺傷）²¹以及上游效應（源頭抑制）。²²

(六) 總體防衛：社會與基礎設施韌性

軍事上的拒止能力，必須建立在「社會不易崩潰、戰時能持續運作」的基礎上。無人載具戰略尤其仰賴「全民國防」所創造的戰略縱深。措施包含：關鍵基礎設施強韌化（Hardening Critical Infrastructure）與軍民協同與動員（Civil-Military Coordination & Mobilization）。

²¹ 軟殺傷（Soft-Kill）：發展主動的「電子攻擊」（Electronic Attack, EA）能力，利用無人機搭載 EW 設備前推，壓制敵方的感測器（雷達）與通訊節點，並強化自身的抗干擾（ECCM）能力。

²² 上游效應（源頭抑制）：利用無人載具的隱蔽性與長航時特性，對敵方進行「發射前」（Left of Launch）的持續監控與干擾。這不僅指物理摧毀，更包含在敵集結、登載或航渡階段，即時鎖定並施加壓力，迫使其改變或放棄行動。

城鎮戰各類阻絕設施布建之效益評估

賀增原

網路安全與決策推演研究所

焦點類別：不對稱作戰

壹、前言

本文重點聚焦在城鎮戰中如何有效布建阻絕設施，誠如今年7月11日實施「漢光41號」演習，陸軍53工兵群在桃園蘆竹執行「灘岸暨聯外道路阻絕預置作業」，以消波塊（擺置於阻絕前方）、鋼刺蝟結合蛇腹型鐵絲網（置於阻絕中間）以及美製「艾斯科」防禦工事（HESCO bastion）（放置阻絕後方）阻絕。¹陸軍54工兵群人員及車輛機具則是進駐北安橋，實施交通管制，將鋼刺蝟結合蛇腹型鐵絲網、廢棄車輛等器材在路面上組裝展開，造成人員及車輛阻絕的環境。²針對衛戍區防備，此次演習也特別針對萬板大橋做「全線封鎖」的場景，實施橋樑阻絕守備作戰的演練，從封橋至完成阻絕設施架設，時間不到2小時完成，除徵集公車作為阻絕設施，也採用美製「艾斯科防禦工事」，強化建置效率。³萬板大橋全長690公尺，演練在橋上設置4道阻絕障地，每道障地約120公尺且配備8項阻絕設施，包含有鐵拒馬、鋼刺蝟、蛇腹型鐵絲網、戰防雷、紐澤西護欄、阻絕尾車、艾斯科防禦工事，以及4輛公車。⁴因此本文將介紹阻絕設施施工複雜度、阻絕設施之單位成本，以及阻絕設施之排除時間以作為守軍防守安全的參考。

¹ 吳書緯，〈漢光演習桃園蘆竹工兵演練阻絕防禦設施 遲滯共軍登陸時間〉，《中央通訊社》，2025年7月11日，<https://www.cna.com.tw/news/aip/202507110294.aspx>。

² 〈漢光演習工兵凌晨台南封橋！路面佈「鋼刺蝟」阻敵 路人喊：國軍加油〉，《三立新聞網》，2025年7月14日，<https://www.setn.com/News.aspx?NewsID=1687127>。

³ 〈漢光演習首度「全線封鎖」萬板大橋 國軍演練橋梁守備 2H 完成阻絕〉，《台視新聞網》，2025年7月15日，<https://news.ttv.com.tw/news/11407150000700W>。

⁴ 陳冠宇，〈漢光導入「HESCO 防禦工事」 萬板大橋設4道「阻絕障地」〉，《TVBS 新聞網》，2025年7月15日，<https://news.tvbs.com.tw/politics/2931751>。

貳、安全意涵

一、阻絕設施施工複雜度

阻絕設施施工複雜度會牽涉至兩個面向：(一) 對於防守方在布建設施所需的時間；(二) 阻絕攻擊方進攻的步驟，增加防守方的安全程度。依據參考文獻可以了解烏克蘭阻絕設置方法當中有很多擺設方式都是參照美軍西點軍校城鎮戰的擺設，使用的阻材為輪胎、多功能鋼樁、紐澤西護欄及水泥樁等並結合兵火力的發揮，使得俄軍難以通行並造成傷亡如圖 1。如此阻絕模式提供烏軍運用 Z 字型路障設置，導致俄軍在轉彎處減速，以便可以對俄軍實施攻擊。⁵

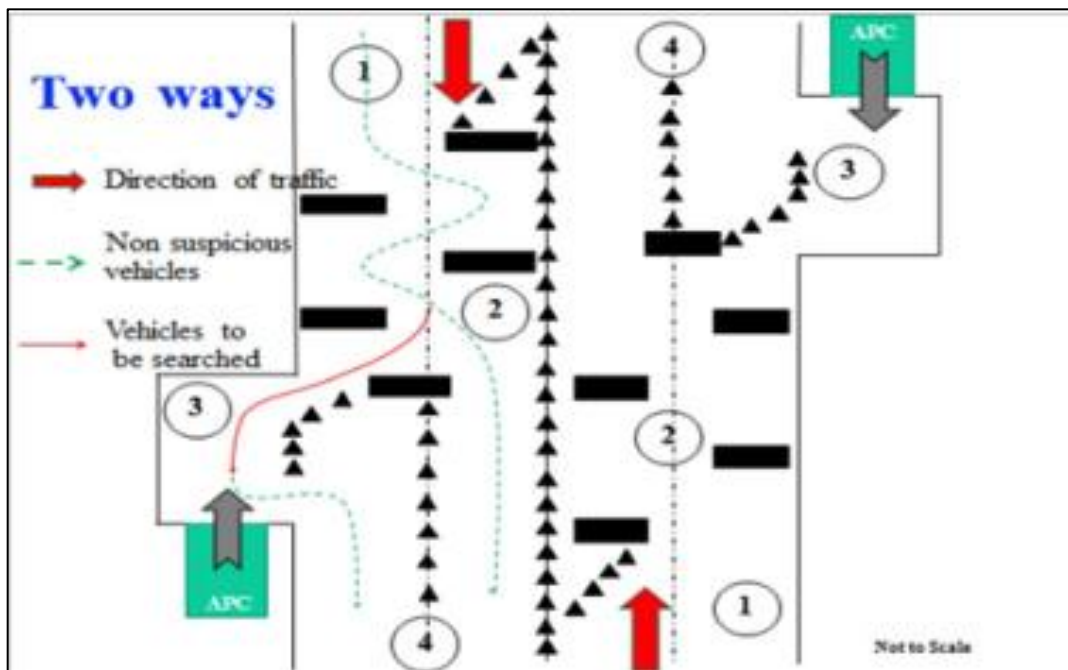


圖 1、美軍西點軍校城鎮戰擺設模式

資料來源：Spencer Guard，X 貼文，2022 年 2 月 26 日，<https://x.com/spencerguard/status/1497583318056853510>。

延續上段的說明，阻絕設施的部署可以參考如下的順序：「延遲推進→分隔隊形→誘敵破障→致命打擊→掩護反擊」。當攻擊方遇

⁵ 蔡銘軒，〈從俄烏戰爭探討城鎮阻絕-以基輔為例〉，《陸軍工兵半年刊》，第 161 期，2022 年 10 月 14 日，頁 29-57。

到阻絕設施，一定延緩攻擊的步驟，如果遭遇布障的設施勢必造成隊形分散，同時會動用其工兵班進行障礙排除，此時發揮防守方的火力攻擊，將造成攻擊方的人員損失，同時進行防守方火力重新部署。整理各項設施的施工時間與複雜度比較如表 1。

表 1、阻絕設施施工時間與複雜度比較表

設施名稱	預估部署時間	技術複雜度	說明
鐵拒馬	快速 (30 分 2 小時)	低	模組化結構、可快速擺放。
鋼刺蝟	快速 (12 小時)	中	鋼製障礙，穩定性佳。
蛇腹型鐵絲網	中等 (24 小時)	中	需展開並固定，牽涉地形。
戰防雷	長時間 (4 小時以上)	高	涉及地形分析、精準埋設、引爆裝置設定、安全管制。
紐澤西護欄	中等 (36 小時)	中	重型設備吊運與排列。
阻絕尾車	快速 (30 分 1 小時)	低	機動性高、依需求移動。
艾斯科防禦工事	中等 (25 小時)	中	需挖填、堆疊與整平，效率高但需機具支援。
公車	中等 (2-3 小時)	低	視調度方式，可快速部署但空間佔用大。

資料來源：作者參考 Copilot/Microsoft 自行整理。

二、阻絕設施之單位成本

本文蒐集參考文獻列出前述八種阻絕設施之單位成本，需要強調的是由於阻絕設施會因為地形與戰術的需求，會有不同的長度、枚數、組別與卷數，因此本段僅能以單位成本為衡量依據，以提供相關單位參考。

八種阻絕設施之單位成本如表 2。由於阻絕設施的商業網站或訂價資訊一般是無法獲得，因此表列的成本部分是 Copilot 推估整理出來。此處阻絕設施亦可以採用「移撥」、「徵用」或「使用廢棄車輛」等方式，即不需要採購成本，這部分考量可以視需求單位作為彈性調整，自然將會影響後續的優先排序。

表 2、阻絕設施之單位成本

阻絕設施	單位成本估算 (新台幣)	備註說明
鐵拒馬	約 12,260 元/具	根據警政署採購 1500 具總價約 1839 萬元。 ⁶
鋼刺蝟	約 15,000 元 25,000 元/具	由角鋼製成，單具成本視尺寸與材質而定。 ⁷
蛇腹型鐵絲網	約 1,500 元 3,000 元/卷	每卷長約 12 公尺，材質為不鏽鋼刮刀與鋼絲。 ⁸
戰防雷	約 337,800 元/枚	以 45.4 億元採購 13440 枚估算。 ⁹
紐澤西護欄	約 1,000 元 3,000 元/座	視長度與材質（混凝土或塑鋼）而定。 ¹⁰
阻絕尾車	約 446,000 元/輛	台灣標案網決標公告機動阻絕尾車 20 輛，決標金額 8,925,000 元。 ¹¹
艾斯科防禦工事	約 8,000 元 30,000 元/組	每組約 1.5 公尺高、1 公尺寬，含填土與架設。 ¹²
公車	約 400 萬元 600 萬元/輛	若為報廢車輛或改裝車輛，視來源而定。 ¹³

資料來源：作者參考 Copilot/Microsoft 自行整理。

三、排除阻絕設施所需要的時間

當工兵遭遇各種不同的阻絕設施，在實施排除所花的時間會根

⁶ 104 年購置鐵拒馬 1,500 具（含架設工具 30 組）案，<https://bid.twincn.com/item.aspx?sn=6190032875>。

⁷ 根據台灣鋼材市場行情與焊接工資，若由本地鐵工廠製作加重型鋼刺蝟（厚鋼板、耐候塗層），單價可能達 NT\$15,000-25,000。此推估是根據類似尺寸與材質的軍用拒馬（如 SJ-028LG 型號）加工成本延伸而來。

⁸ 蛇腹型鐵絲網請參《日晟刮刀刺網公司》，<https://www.ri-cheng.com.tw/serv1.htm>。網站售價 <https://biggo.com.tw/s/蛇腹型鐵絲網/>。

⁹ 朱明，〈國防部耗資 45 億 4054 萬元 分 3 年向美採購 14 套陸上機動布雷系統〉，《上報》，2023 年 6 月 29 日，https://www.upmedia.mg/news_info.php?Type=1&SerialNo=176130。呂昭隆，〈「九陣專案」軍購火山地雷簽發價書 要價新台幣 45.4 億元〉，《yahoo!新聞》，2023 年 6 月 29 日，<https://tw.news.yahoo.com/九陣專案-軍購火山地雷簽發價書-要價新台幣45-4億元-071044361.html>。

¹⁰ 紐澤西護欄的售價依材質、尺寸與用途而異。《豐合道安科技有限公司》，https://www.fengheet.com/shop_product.php?product_id=194。

¹¹ 《台灣標案網》，<https://bid.twincn.com/item.aspx?sn=802768187>。

¹² 根據目前公開資訊，美製「艾斯科防禦工事」（HESCO）在台灣的售價尚未全面公開，但可從軍方採購與國際報價推估其成本，同時依據不同用途會有不同防護強度。Copilot 整理售價，<https://www.hesco.com/about/hesco-global>。

¹³ 〈電動公車、油電公車與柴油公車之成本效益分析〉，《交通部運輸研究所》，103 年 9 月，https://www.iot.gov.tw/zh_tw/archive/pub/reports/-97415646。

據地形、天候、敵情壓力（火力攻擊）、工兵裝備與人力而有所變動。但以下是一般情況下的估算，拆除所需時間如表 3。無論是各項演習或者軍事新聞媒體所揭露的消息，一般都無法獲得單一阻絕設施所需要排除的時間，因此下表中的數據均是預估值，提供部隊未來排除時的參考，如果有精準的數據，再根據本文分析模式做整體性的評估。

表 3、阻絕設施之排除時間

阻絕設施	排除方式簡述	預估排除時間 (單一設施)
鐵拒馬	可由 2 至 4 人徒手搬移或以吊車快速移除。 ¹⁴	約 5-15 分鐘
鋼刺蝟	需吊車或堆高機移除，若釘地則需破壞固定點。 ¹⁵	約 10-20 分鐘
蛇腹型鐵絲網	需剪斷或以火焰切割器破壞，若有交叉扣則更費時 ¹⁶	約 15-30 分鐘
戰防雷	需使用探雷器定位，並以爆破或機械方式排除，視數量與密度而定。 ¹⁷	約 30-60 分鐘以上
紐澤西護欄	需吊車或重型機具搬移，若有鋼索連結則需先切割。 ¹⁸	約 20-40 分鐘
阻絕尾車	需拖吊或爆破處理，視車輛大小與數量而定。	約 15-45 分鐘
艾斯科防禦工事	需破壞鋼網結構或移除填土，若已填滿則需重型機具處理。 ¹⁹	約 30-60 分鐘
公車	若為空車可拖吊，若填充物或改裝則需爆破或拆解。 ²⁰	約 30-60 分鐘

資料來源：作者參考 Copilot/Microsoft 自行整理。

¹⁴ 拒馬架設所需的時間會依照機動型或者固定型而異，因此取一個區間來評估。《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%8B%92%E9%A6%AC>。

¹⁵ 同註 1、註 2。

¹⁶ 刮刀網請參《久恩企業》，<https://www.junen.com.tw/金屬網/蛇腹型-直線型刮刀刺網.html>。蛇腹型鐵絲網請參《日晟刮刀刺網公司》，<https://www.ri-cheng.com.tw/serv1.htm>。

¹⁷ 〈台灣會變地雷島？火山布雷系統一篇看懂〉，《中央通訊社》，2023 年 1 月 19 日，<https://www.cna.com.tw/news/aip/202301195006.aspx>。

¹⁸ 吳書緯，〈遲滯共軍登陸時間 工兵桃園蘆竹演練阻絕防禦設施〉，《華視》，2025 年 7 月 11 日，https://news.cts.com.tw/cna/politics/202507/202507112491461.html#google_vignette。

¹⁹ 同註 4。

²⁰ 同註 3。

參、趨勢研判

一、阻絕設施布建之優先順序

本文所提的阻絕設施共有 8 種，在有限的國防預算條件下，本文希望運用客觀的分析方法，從阻絕設施施工複雜度、阻絕設施之單位成本，以及阻絕設施之排除時間等三個指標評估之。前述三個指標中，預估部署時間與單位成本估算屬於望小特性，希望時間越短與成本越低廉越好；而預估排除阻絕設施則屬於望大特性，期望排除阻絕設施越久越好。

依據上述的說明，預估阻絕設施部署時間能越快越好與單位成本能越便宜越好，但是對防守方而言，則希望攻擊方排除阻絕設施越久越好。因此綜整表 1 至表 3 的數據，將阻絕設施三項指標彙整至表 4。

表 4、所有阻絕設施的評估指標

阻絕設施	預估部署時間	單位成本估算 (新台幣)	預估排除時間 (單一設施)
鐵拒馬	30 分-2 小時	約 12,260 元/具	約 5-15 分鐘
鋼刺蝟	1 - 2 小時	約 15,000 元-25,000 元/ 具	約 10-20 分鐘
蛇腹型鐵絲網	2 4 小時	約 1,500 元-3,000 元/卷	約 15-30 分鐘
戰防雷	4 小時以上	約 337,800 元/枚	約 30-60 分鐘以上
紐澤西護欄	3 - 6 小時	約 1,000 元-3,000 元/座	約 20-40 分鐘
阻絕尾車	30 分-1 小時	約 446,000 元/輛	約 15-45 分鐘
艾斯科防禦工事	2 - 5 小時	約 8,000 元-30,000 元/組	約 30-60 分鐘
公車	2-3 小時	約 400 萬元-600 萬元/輛	約 30-60 分鐘

資料來源：作者參考 Copilot/Microsoft 自行整理。

將各項阻絕設施按照以上的說明，排出其優先順序，如表 5。

表 5、各項阻絕設施優先排序

阻絕設施	預估部署時間	單位成本估算	排除時間	排 序
鐵拒馬	2	3	6	11
鋼刺蝟	3	4	5	12
蛇腹型鐵絲網	5	2	4	11
戰防雷	8	6	1	15
紐澤西護欄	7	1	2	10
阻絕尾車	1	7	3	11
艾斯科防禦工事	6	5	1	12
公車	4	8	1	13

資料來源：本文作者整理。

由於本文均是透過公情資料作為分析的基礎，將預估部署時間、單位成本估算（新台幣）與排除時間（單一設施）等三項的成本效益綜合起來比較，可以獲得如下的優先順序：紐澤西護欄 > 鐵拒馬（蛇腹型鐵絲網）（阻絕尾車）> 鋼刺蝟（艾斯科防禦工事）> 公車 > 戰防雷。

在此再次強調，此處的優先順序絕非標準答案，會隨著數據大小而有所不同，同時考慮的評估指標本文是採用三項，或許還有作者沒有考慮的項目可以作為阻絕設施的評估指標。

二、出奇不意地擺放

本文論述在於不考慮雙方兵力的部署、以及「偵打一體」無人機的奇襲，重點純粹就各類阻絕設施的布建，該如何擺置可以獲得最好的效益。同時強調應該要出奇不意地擺放，而非標齊對正，如圖 2 (a) 與圖 2 (b) 所示，圖中說明布雷方式採用斜交式、S 型或 X 型等三種井然有序。因此建議各項阻絕設施擺放應該要錯綜複雜，同時不同設施相互組合與搭配，增加攻擊方拆解的難度，而非形成規律性，增加拆解速度。²¹如此，讓來襲的攻擊方無法預知下一

²¹ 吳奇諭、高唯真，〈防衛作戰工兵機動阻絕隊編組與運用之研究〉，《陸軍學術雙月刊》，第 53

步會遭遇什麼阻絕設施，在何處會遭遇，這將更具有打擊敵方士氣的嚇阻力。

鋼刺蝟	戰防雷
	
圖 2(a) 鋼刺蝟布建	圖 2(b) 戰防雷布建

圖 2、鋼刺蝟布建與戰防雷布建

資料來源：吳奇諭、高唯真，〈防衛作戰工兵機動阻絕隊編組與運用之研究〉，
《陸軍學術雙月刊》，第 53 卷第 555 期，2017 年 10 月，頁 60-74。

人工智慧演算法在共同作戰圖像、指揮與管制之運用

林超倫

網路安全與決策推演研究所

焦點類別：作戰概念

壹、前言

近年國防部成立國防創新小組（Defense Innovation office, DIO），專注創新作戰發展、產業調研評估、軍民科技應用等三個領域，專注於無人載具、反制無人機系統、人工智慧目標辨識等技術領域。¹其中人工智慧項目應是當前最能有效提升整體防衛能量的項目之一。另國家中山科學研究院亦積極與美商科技公司（如 Anduril 與 Northrop Grumman）尋求合作及簽署備忘錄，顯示我國對於最新科技與人工智慧輔助作戰需求孔急。²為凸顯人工智慧演算法對於軍事作戰之重要性，筆者簡述以「檢索增強生成」（Retrieval-Augmented Generation, RAG）與「本體論」（Ontology）為基礎的人工智慧關鍵演算法，如何應用於知識密集、複雜、機敏且高風險的軍事作戰環境中，以提升「共同作戰圖像」（Common Operational Picture, COP）的清晰度，並強化「指揮與管制」（Command and Control, C2）的效能。

一、「檢索增強生成」（RAG）

RAG 是一種增強「大型語言模型」（large language models, LLM）的方法，其核心係將外部檢索組件整合至生成流程中，以應

¹ 蘇晏男，〈新版國防報告書出爐！首提 DIO 小組要導入 AI 厚植整體國防戰力〉，《ETtoday 新聞雲》，2025 年 10 月 9 日，<https://www.ettoday.net/news/20251009/3047550.htm>。

² 陳治程，〈美 Anduril 公司確定進駐台灣，與中科院合作產品 9 月現台北航太展〉，《自由時報電子報》，2025 年 8 月 6 日，<https://def.ltn.com.tw/article/breakingnews/5134229>。〈中科院與諾格合作打造台版 IBCS 整合國內防空指管體系〉，《Yahoo 奇摩新聞》，2025 年 9 月 17 日，<https://tw.news.yahoo.com/share/90b74708-b0fa-3b33-8b9b-92cabb87492f>。

對傳統 LLM 對固有的知識產生不實資訊（幻覺）的風險。RAG 在企業應用中展現的關鍵優勢包括「高事實準確性」、「完整性」以及「資訊的可追溯性」，都符合軍事作戰領域中的作業需求。³RAG 系統運作原理包含索引階段（將數據處理、分割，在儲存於知識庫中）和生成階段（將查詢轉為檢索最相關的上下文，再提供給 LLM 生成答案）。

在軍事作戰中，RAG 就像一位聰明的參謀。當指揮官用自然語言提問（例如：「附近有哪些單位能對付敵方裝甲部隊？」），這位參謀會先「檢索」即時情資資料庫，找出相關單位的具體位置、戰備狀態及武器的能力與限制等事實數據。接著，它會將這些事實與原始問題「增強」打包成一個新提示，最後交由大型語言模型「生成」一段基於上述準確情報、而非憑空猜測的自然語言回答，例如明確指出「某甲反裝甲排」和「某乙砲兵營」是最佳選擇，因為他們的即時數據顯示已準備就緒且配備了有效武器。

二、「本體論」

本體論在知識工程領域被視為一種工程產物，是對概念化的明確、形式化規格說明。其主要結構由概念、概念關係、函數、公理及實例組成。本體論能夠清楚表達概念之間多樣化的複雜關係，例如邏輯關係和本體關係（空間上的整體與部分關係、時間上的連續關係等）。本體論的應用旨在透過共通的術語和規範描述來實現知識共享和相互操作性。⁴

在軍事領域中，本體論是一種將戰場知識結構化的方法，它會明確定義如「軍事單位」、「武器系統」和「目標」等核心概念，以

³ Aysha Nihal, "Comparative Study of Retrieval-Augmented Generation (RAG) and Fine-Tuned Large Language Models in Conversational AI" (Master Degree Project in Informatics with a specialization in Data Science, Autumn term 2025), pp. 5-7, <https://his.diva-portal.org/smash/get/diva2:1985482/FULLTEXT01.pdf>.

⁴ Ying Ding and Schubert Foo, "Ontology Research and Development. Part I - A Review of Ontology Generation," *Journal of Information Science*, Vol. 28, No. 2, 2002, pp. 2-3.

及它們各自的屬性（例如武器的有效射程）與彼此之間的關係（例如單位配備了某武器）。透過這個架構，電腦系統能接收即時情報（如我方砲兵與敵方目標的位置），並根據預設規則自動進行推理，例如在計算出雙方距離後，與武器射程進行比對。最終，系統能自動得出「某單位可攻擊某目標」的結論，將複雜的數據分析轉化為直觀的決策輔助，從而大幅提升指揮效率與決策速度。

貳、安全意涵

在軍事作戰中，COP 與 C2 所要求資訊必須具備最高層級的準確性、可靠性與安全性。RAG 與本體論的特性在以下幾個方面具有關鍵的安全意涵：

一、確保事實準確性與決策信任度

RAG 在「事實準確性」（Factual Accuracy）和「完整性」（Completeness）方面表現出色。這在軍事規劃或情報分析等要求極高準確性的領域中非常重要。

（一）減少幻覺與可追溯性

RAG 明確檢索文件（基於事實的來源資訊）作為答案的依據，有助於減少 LLM 產生「幻覺」（Hallucination）的風險。答案可直接追溯到可驗證的來源材料，從而提高指揮者在決策過程中的信任度（可信賴的人工智慧）。

（二）適用於動態情報

RAG 系統特別適合用於資訊快速演變的內部環境，這與軍事知識庫，特別是不斷更新的情報、戰術手冊或裝備規格等等的動態性質相符。

二、知識體系的精確組織與相互操作性

在建構精確的共同作戰圖像時，需要對複雜的軍事概念（例如部隊編制、作戰階段、裝備類型）及其關係進行嚴格定義，此時就

換上本體論上場。

(一) 結構化知識網路

本體論能夠作為強大的知識組織基礎，為 RAG 提供結構清晰、關係明確的知識鏈結。本體論可定義複雜的本體關係，例如某部隊「包含」(空間上的整體或部分關係)某裝備。

(二) 強化語義匹配

當用戶(指揮官或情報分析師)提出涉及複雜關係的查詢時，若知識庫是透過本體論結構定義的，RAG 的檢索器能夠利用這些定義好的關係，更準確地進行語義相似性搜索，進而提升答案的精確度。

(三) 促進跨部門與跨國協作

本體論有助於透過共通的術語和規範描述來實現互操作性。在涉及多部門、多機構或跨國協作的軍事環境中，定義統一的軍事術語領域本體論，有助於確保所有系統對同一概念的理解一致(統一各個不同原始碼的作戰圖像，而不是統一其原始碼，可有效解決對於不同國家系統或涉及商業機密的原始碼取得問題)。

三、數據安全與可靠性的挑戰

儘管 RAG 提供了高準確與可靠性，且本體論更強化其提供答案的品質，但在其系統建構中，資料安全和可靠性仍是嚴峻的挑戰。

(一) 檢索可靠性的瓶頸

RAG 系統的品質極度依賴其知識庫和檢索設計。經實際運用之經驗顯示，部分有關「低品質」回答並非源於 LLM 的能力不足，而是因為檢索資料庫時無法回傳正確的上下文，這在 C2 環境中可能導致重大的決策失誤。

(二) 資訊洩漏風險

建構高品質 RAG 系統時，必須仔細規劃知識庫，並保留對敏感

數據的存取限制。若未能遵循最佳數據管理實務，或未依相關機敏資訊處理規範及限制執行，將可能導致最終生成的答案包含使用者原本不應存取的機密或敏感資訊。

參、趨勢研判

未來在軍事作戰 COP 與 C2 應用中，RAG 與本體論的發展趨勢應以混合架構、大規模部署以及嚴格的評估標準，以克服單一技術的限制。

一、混合與強化架構以應對複雜性

(一) RAG 與本體論的協同作用

本體論提供知識結構，能有效解決 RAG 的檢索瓶頸。透過將本體論定義的結構化知識整合到 RAG 的知識庫中，可以確保知識庫的語義清晰度和完整性。

(二) 混合搜索的必然性

為了在複雜的查詢中提高檢索的召回率，趨勢是實施「混合搜索」(Hybrid Search)，結合「向量搜索」(擅長語義匹配)和「關鍵字搜索」(擅長精確詞彙匹配)。這對於 C2 系統中涉及術語與概念的模糊和精確查詢助益甚巨。⁵

(三) RAG 與微調的結合

研究趨勢指出，結合 RAG 與「微調」(Fine-Tuning, FT) 的混合解決方案是未來方向。⁶微調能使 LLM 學習特定的語氣、風格，使其具有一致性，而 RAG 則能提供最新的事實準確性。在軍事 C2 環境中，這可以確保系統的回答既符合嚴格的軍事指揮語言風格，又能基於最新的情報事實。⁷

⁵ Microsoft, "Hybrid Search - Azure AI Search," *Microsoft Learn*, July, 22, 2025, <https://learn.microsoft.com/zh-tw/azure/search/hybrid-search-overview>.

⁶ Nihal, "Comparative Study of Retrieval-Augmented Generation," pp. 8-10.

⁷ 微調是指在一個已經在海量通用數據上訓練好的基礎模型 (Foundation Model) 之上，使用少量、特定領域的數據集，進行額外的訓練，以調整模型的權重，使其在特定任務上更專業、

二、大規模與高可用性系統架構

隨著軍事系統的規模和地域範圍擴大，RAG 架構必須轉向高可擴展性和高可用性。

（一）分散式架構的必要性

為了應對高需求、大規模的數據和流量（例如全球範圍的軍事工作負載），需要採用「分散式檢索」（Distributed Retrieval）系統，而非單點故障的「集中式」（Centralized）系統。分散式架構能夠提供冗餘、更高的故障轉移能力和正常運行時間。

（二）資料更新率管理

在情報快速變動的軍事環境中，資料的「新鮮度」（Freshness）至關重要。趨勢是採用混合嵌入策略，結合離線（批次）更新用於靜態知識庫，以及線上（即時）嵌入用於處理即時或使用者產生的數據（如最新情報）。

三、嚴格的多面向評估

由於軍事作戰的風險極高，系統的可靠性不僅需要技術測試，還需要嚴格的品質評估。

（一）雙重評估策略

趨勢是採用「自動化評估指標」（如 ROUGE、BERT Score）與結構化人工評估相結合的雙重評估策略，以進行全面和公正的性能評估。⁸

（二）注重事實正確性

上述自動化評估指標與人類對流暢度和相關性的判斷相關性較高，但對於高風險的 C2 系統，更需要專注於「事實正確性」

更精確。簡單來說，微調的目的，是讓模型從「大致知道」變成「精確做到」。

⁸ Nihal, “Comparative Study of Retrieval-Augmented Generation,” p. 3. (ROUGE 和 BERT Score 都是用來自動評估機器生成文本（例如摘要或翻譯）品質的常用指標。ROUGE 主要計算生成文本與參考答案之間字詞的重疊率，計算速度快但無法理解語意；而 BERT Score 則利用大型語言模型來比較兩者在語意上的相似度，更能準確判斷同義詞或換句話說的情況。)

(Factual Correctness) 和「完整性」(Completeness) 的人工評估。需要建立相關的標準與觀察指標，讓使用者對於答案品質具有一定能力的判斷與警覺，這對高風險環境中的驗證至為關鍵。

RAG 與本體論的結合，為提升軍事 COP 與 C2 的效能，提供了兼具結構化與靈活性的解決方案。RAG 透過外部知識庫的即時檢索，有效降低大型語言模型的幻覺風險，確保了決策資訊的高度事實準確性與可追溯性；而本體論則為複雜的軍事知識提供了清晰、可互通的語義網路，強化了 COP 中各作戰單元與概念的精確性。然而，此技術組合並非沒有挑戰。其成效除高度依賴檢索系統的可靠性外，若知識庫的數據管理不當，更可能引發敏感資訊洩漏的嚴重安全風險。展望未來，發展趨勢將朝向整合性架構進行，透過本體論來優化 RAG 的檢索瓶頸、採用混合搜索策略，並結合「微調」以兼顧事實與專業，將是克服現有技術限制的關鍵。同時，為應對大規模作戰需求，系統架構必須走向分散式與高可用性，並建立包含自動化與人工驗證的嚴格評估機制，以確保在分秒必爭的高風險環境中，提供最可靠的決策支援。總體而言，本體論與 RAG 的協同應用，不僅是技術上的演進，更是實現智慧化、高信賴度軍事決策支援體系的關鍵基礎。

發行人 / 霍守業

總編輯 / 劉峯瑜

主任編輯 / 洪子傑 執行主編 / 龔祥生

助理編輯 / 李冠成、梁書瑗、王綉雯、方琮熾、鄧巧琳