

第六章 科技趨勢

舒孝煌、許智翔*

壹、前言

由於大國競爭時代來臨，軍事科技發展速度有加快趨勢。近年較受人矚目的發展，包括導能武器如雷射、電磁武器或微波武器等，已逐步邁向實用化，準備開始在艦艇或陸地上進行部署；更遠程、更精準的火力，如長程火砲、極音速武器等，不但遠距的敵人將無所遁形，傳統的防禦手段也將失去效力。

無人載具技術也持續進一步發展，運用範圍更為廣泛，除了大型的無人機與無人艦艇，可執行多元化的作戰任務外，人工智慧運用在無人系統上，也大幅提升無人系統的運用範圍，包括減輕操作者的負擔，使其真正變成「無人化」，並真正成為戰場士兵的隊友，協助執行搬運輜重工作，減輕作戰人員的負荷，或擔任危險的前線偵察等任務，減少士兵暴露在砲火下的危險。

軍事科技發展速度加快的部分原因，是因為武器研發人員及裝備運用者都意識到，不應追求過度高度科幻的先進科技、導致成本過高，期程太長，而且至研發完成的期程太長，而是減少過度的野心，專注於解決當前最急迫問題，先運用現成可行的科技，再逐漸提升其作戰能力。由於大國競爭再起，各國競相發展新軍事科技與新武器，挑戰對手的軍事優勢，使軍備競賽再起，而新軍事科技及備取得管道更為多元化，取得更容易，如無人機及極音速武器等，將促使軍事科技及先進武器更加擴散，對國際秩序及區域安全帶來極大挑戰。

貳、雷射與導能武器

導能武器（direct energy weapon, DEW），意指直接將能量轉換為攻擊敵人的武器，其中包括致命與非致命武器，種類包括雷射、微波武器、電磁武器等，運用領域包括反人員武器、飛彈防禦系統、近迫武器等。過去導能武器被認為是科幻電影的情節，但隨著技術成熟，以及作戰上的迫切需要，使得此一類型武器已逐步邁向實用化，不再僅存在於科幻電影或小說中。

一、美國的雷射武器發展

美國軍方認為，反制火箭、火砲、迫砲與飛彈威脅（counter rocket, artillery, mortar and missile, C-RAMM）是保護前線部隊及基地部署的急迫任務。目前雷射武器發展重點置於可立即投入使用的技術上，逐步提升雷射武器能量。另外，也

* 舒孝煌，先進科技與作戰概念研究所助理研究員，負責本章第壹節、第貳、參節前半與第肆、陸節；許智翔，先進科技與作戰概念研究所博士後研究，負責本章第貳、參節後半、第伍節與第柒節。

開始重視更複雜的太空雷射科技，太空部署雷射的目的將是針對戰略及區域性的飛彈防禦能力。美國國防部計畫從 2020 年開始，進行太空雷射的工程發展。¹美國海軍正在發展革命性的艦上武器系統，其中包括固態雷射（solid state lasers, SSL）、電磁軌道砲（Electromagnetic Railgun, EMRG）、導引砲彈（Gun-Launched Guided Projectile, GLGP）等。早在 2014 年，海軍即在兩棲船塢登陸艦龐斯號（USS Ponce, LPD 15）上進行 AN/SEQ-3 雷射武器系統（Laser Weapons System, LaWS）實驗，用以反制小型無人機、無人快艇，2017 年曾在中東進行實驗性部署。²LaWS 用較保守方式發展，應付軍事上的急迫任務，除反制無人機外，還包括海上反恐、獵殺水雷等一系列任務。其功率雖僅 3 萬瓦，但在測試中已足以擊落慢速飛行的無人機。LaWS 基本上是將六具商用焊接雷射「綁」在一起，讓雷射光束聚合在目標上。³

美國海軍預計於 2021 年，在勃克級（Arleigh Burke-Class）驅逐艦普雷貝爾號（USS Preble, DDG 88）上裝置「高能雷射與整合光學殺傷監視系統」（High Energy Laser and Integrated Optical-dazzler with Surveillance, HELIOS），HELIOS 是海軍雷射武器發展戰略的一部分，⁴能量為 6 萬瓦，未來則提升至 10 至 15 萬瓦。這套系統由洛克希德馬丁公司（Lockheed Martin）發展，部署在勃克級驅逐艦上時，將與神盾作戰系統（Aegis combat system）整合，除作為防禦用武器外，雷射光束也可用來執行長程情監偵任務。

美國陸軍也將雷射、微波、極音速武器視為高度優先計畫。⁵陸軍「快速能力及關鍵計畫辦公室」（Rapid Capabilities & Critical Technologies Office, RCCTO）計畫發展一系列 IFPC 系統，用以保護前線部隊，包括飛彈、雷射、微波武器等，可配備在重型卡車上，或定點部署，保護前進機場、補給節點、指揮中心等關鍵設施，做為陸軍未來中空層的飛彈防禦系統。前進部署則由新的「機動短程空防系統」（Maneuver Short-Range Air Defense, MSHORAD）負責，以史崔克（Stryker）甲車做為載台，搭載機砲、飛彈，以及新的 5 萬瓦雷射，對付數量最多的威脅

¹ Ben Werner, "Pentagon Shifts Focus on Directed Energy Weapons Technology," *USNI News*, September 5, 2019, <https://news.usni.org/2019/09/05/pentagon-shifts-focus-on-directed-energy-weapons-technology>.

² "Navy Lasers, Railgun, and Gun-Launched Guided Projectile: Background and Issues for Congress," The Congressional Research Service, May 17, 2019, <https://assets.documentcloud.org/documents/6018848/Navy-Lasers-Railgun-and-Gun-Launched-Guided.pdf>.

³ Jason Mick, "LaWS (Laser) "Kills" Boat-Hauled Fuel Tanks, UAV "Bomber" in the Persian Gulf," *Dailytech*, December 12, 2014, <http://www.dailytech.com/LaWS+Laser+Kills+BoatHauled+Fuel+Tanks+UAV+Bomber+in+the+Persian+Gulf/article36994.htm>.

⁴ Ben Werner, "Pentagon Shifts Focus on Directed Energy Weapons Technology," *USNI News*, September 5, 2019, <https://news.usni.org/2019/09/05/pentagon-shifts-focus-on-directed-energy-weapons-technology>.

⁵ Theresa Hitchens, "Lasers, Microwaves, Hypersonics & More: Army RCCTO," *Breaking Defense*, August 7, 2019, <https://breakingdefense.com/2019/08/lasers-microwaves-hypersonics-more-army-rccto/>.

，如火箭、火砲、迫砲、無人機及直升機等。諾斯洛普格魯曼（Northrop Grumman）及雷神（Raytheon）將競標史崔克甲車的雷射系統。⁶

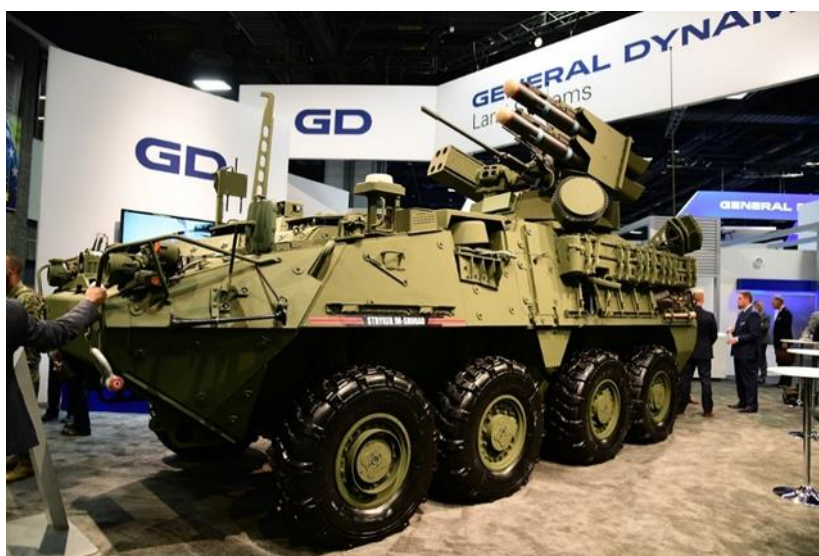


圖 6-1、機動短程防空系統

資料來源：舒孝煌攝影。

說明：通用動力集團在 2019 年美國陸軍年會暨裝備展中展出其發展的機動短程防空系統。

除了 10 萬瓦等級的車載雷射系統外，洛克希德馬丁也計畫自行發展 25 萬至 30 萬瓦的更高能量雷射，預計 2022 年進行展示，2024 年部署，⁷其原型系統稱為「先進測試高能裝備」(Advanced Test High Energy Asset, ATHENA)，可用以攻擊大型無人系統、小型無人機、小型快艇、火箭等目標。

美國空軍在 2019 年開始接收第一套高能雷射武器系統 (high-energy laser weapon system, HELWS)，由雷神公司發展，裝置小型全地形車輛上，使用一套「多光譜目標標定系統」(Multi-spectral Targeting System)，由光電及紅外線偵測、辨識及追蹤無人機，再以雷射加以摧毀。充電時可使用 220 伏特電源，供應光電偵蒐系統，並足以供雷射發射數十次。⁸

⁶ Jen Judson, "Northrop and Raytheon to compete to build laser weapon for short-range air defense," *Defense News*, August 1, 2019, <https://www.defensenews.com/land/2019/08/01/northrop-and-raytheon-to-compete-to-build-laser-weapon-for-short-range-air-defense/>.

⁷ Theresa Hitchens, "Lasers, Microwaves, Hypersonics & More: Army RCCTO," *Breaking Defense*, August 7, 2019, <https://breakingdefense.com/2019/08/lasers-microwaves-hypersonics-more-army-rccto/>.

⁸ "Raytheon announces delivery of first laser counter-UAS system to U.S. Air Force," *Defence Blog*, October 23, 2019, <https://defence-blog.com/news/raytheon-announces-delivery-of-first-laser-counter-uas-system-to-u-s-air-force.html>.

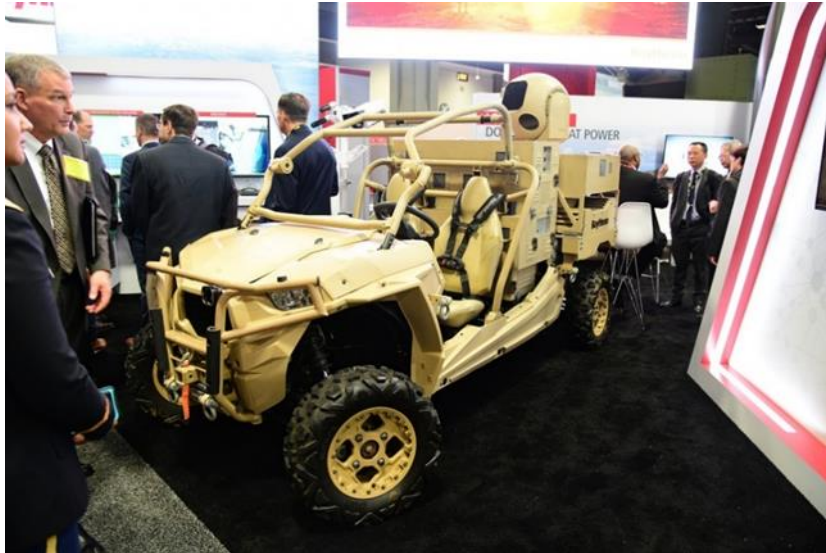


圖 6-2、高能雷射武器系統

資料來源：舒孝煌攝影。

說明：雷神公司發展的高能雷射系統，可由小型全地形車搭載。

二、俄羅斯及歐洲雷射武器

不僅美國，俄羅斯及歐洲國家同樣在雷射武器上投入大量研究，並在近年逐漸得到突破，後者則以德國及英法為甚。2018年3月1日，俄國總統普欽(Vladimir Putin)在其國情咨文演講中，提及俄羅斯已在雷射武器上取的顯著進展，俄軍並已自2017年開始裝備雷射武器，⁹引起各國注意；2018年7月，俄羅斯軍方公布的影片中揭露了裝置在卡車上的「佩列斯韋特」(Peresvet, 14世紀率兵對抗蒙古軍的俄國僧侶)雷射武器系統，儘管公開資料不足，然推測可能用以對抗巡弋飛彈及無人機，也可能用以「弄瞎」敵方的先進裝備，¹⁰而此雷射武器也是普欽在其國情咨文中所提及的6種關鍵性先進武器之一，另5項包括核動力巡弋飛彈、RS-28洲際彈道飛彈、前衛(Avangard)核彈頭極音速助推滑翔載具、核動力無人水下載具，以及超音速巡弋飛彈。¹¹

而在歐洲方面，近十年來德國廠商在相關領域投注相當心力。德國萊茵金屬公司(Rheinmetall AG)與MBDA德國分公司(MBDA Germany)皆針對防空用途分別投入陸基與海基的高能雷射(High-Energy Laser, HEL)研發多年。兩家公司皆運用高能光纖(fibre)雷射技術，並已進行多年實驗與測試；萊茵金屬公司將開發重點至於光束疊加(beam-superimposing)技術，並將光譜耦合(spectral

⁹ “Presidential Address to the Federal Assembly,” *President of Russia*, March 1, 2018, <http://en.kremlin.ru/events/president/news/56957>.

¹⁰ “Peresvet Combat Laser Complex,” *Global Security*, October 12, 2018, <https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/vlk.htm>.

¹¹ Joseph Trevithick, “Here’s The Six Super Weapons Putin Unveiled During Fiery Address,” *the Drive*, March 1, 2018, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/18906/heres-the-six-super-weapons-putin-unveiled-during-fiery-address>.

coupling) 技術作為長期選項，而德國 MBDA 自 2008 年開始研發相關系統，並已在測試中成功耦合多個雷射光源。這些系統多半針對 C-RAMM 及反無人機等任務進行測試。¹²2019 年 2 月，萊茵金屬完成機動武器站 (mobile weapon station) 測試，此武器站具備與該公司之 MANTIS 防空系統密切相關的架構，由雷射光源、帶望遠鏡的光束定向器 (beam director) 及追蹤器組成，可整合 10 萬瓦以內的雷射光源，並正在研發 2 萬瓦的雷射。¹³

針對雷射武器的發展，德國海軍在 2019 年 2 月時提出要求，希望在 2020-2021 年時整合高能雷射武器的原型到 K130 級巡邏艦 (Korvette 130)，又稱「布倫瑞克」級 (Braunschweig-Klasse) 上，並將針對無人機進行最佳化。為此，2019 年 8 月 8 日，萊茵金屬與 MBDA 德國分公司正式宣布將攜手為此計畫進行合作，並將在德國官方宣布進一步的性能需求指標後，決定兩家公司的分工；¹⁴德軍的雷射武器技術在未來將不只應用在艦艇上，也可能在陸地作戰，例如基地火砲或戰車上應用。¹⁵

英國與法國在近年也開始了雷射武器的計畫，英國在 2017 年時開始投資「龍火」(Dragonfire) 艦載雷射武器，由 MBDA、匡提科 (QinetiQ)、李奧納多 (Leonardo)、阿爾克 (Arke)、貝宜 (BAE Systems)、馬歇爾 (Marshall) 和吉凱恩 (GKN) 等公司合作發展，並取得 3,000 萬英鎊資金。2019 年 7 月，英國國防部宣布計畫投入 1.62 億美元的資金研發三種不同的雷射武器原型，儘管「龍火」計畫於 2019 年進行測試，新計畫將進一步聚焦於其尺寸、功能性及如何整合於現有載台上；新計畫中包含兩個高能雷射原型，其中一個裝載於船艦上進行防空與平面防禦，另一個裝在地面車輛上，用於短程防空及反監視任務，第三個則是地面車輛用射頻 (radio frequency) 武器，透過破壞或使對手電子系統喪失作用，以對抗空中無人機及敵人行動，並預計在 2023 年開始測試。¹⁶

法國也在 2019 年宣布將投入數千萬歐元進行雷射武器的研究，並預期在 2025 年時將能進入測試。此研究項目將使用雷射武器對抗太空及地面系統，如燒毀太陽能板、破壞感測器等方式，使光學或通信衛星失能。¹⁷值得注意的是，

¹² "Raising HEL: The mirage of laser weapons," *Jane's International Defence Review*, 2015, https://www.janes.com/images/assets/736/51736/The_mirage_of_laser_weapons.pdf.

¹³ Press Release, "Rheinmetall presses ahead with laser weapon technology: New weapon station successfully tested," *Rheinmetall AG*, February 28, 2019, https://www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall_defence/public_relations/news/latest_news/index_19392.php.

¹⁴ "Rheinmetall and MBDA to build HELWS demonstrator for German corvette," *Naval Technology*, August 9, 2019, <https://www.naval-technology.com/news/rheinmetall-and-mbda-to-build-helws-demonstrator-for-german-corvette/>.

¹⁵ Mischa Geörg, "Bundeswehr bereitet sich auf Einsatz von Laserwaffen vor — mit Strahlenkanonen Made in Germany," *Business Insider Deutschland*, June 12, 2019, <https://www.businessinsider.de/bundeswehr-bereitet-sich-auf-einsatz-von-laserwaffen-vor-mit-strahlenkanonen-made-in-germany-2019-6>.

¹⁶ Andrew Chuter, "UK shoots for new laser weapons against drones, missiles," *Defense News*, July 9, 2019, <https://www.defensenews.com/global/europe/2019/07/09/uk-shoots-for-new-laser-weapons-against-drones-missiles/>.

¹⁷ Pierre Tran, "French Investments in Laser Weapons: ONERA at the Paris Air Show 2019," *Defense.info*, June 14, 2019, <https://defense.info/multi-domain-dynamics/2019/06/french-investments-in-laser-weapons-onera-at-the-paris-air-show-2019/>.

歐洲的跨國飛彈大廠 MBDA 同樣參與了法國的雷射武器計畫，成為貫穿英德法三國導能武器發展的核心廠商。MDBA 甚至另外參與了歐盟的「戰術先進雷射光學系統」(Tactical Advanced Laser Optical System, TALOS) 計畫，¹⁸此計畫為歐盟「國防研究準備行動」(Preparatory Action on Defence Research, PADR) 中的一環，由歐洲防衛署 (European Defence Agency) 負責，並由法國雷射公司 CILAS 主導，儘管投入預算僅 5 百餘萬歐元，然 TALOS 計畫將預期為歐盟未來的相關研發計畫提供框架、提供路線圖，並確保戰略自主及供應安全，並預期在未來十年中讓歐盟的高能雷射能整合進軍事應用中。¹⁹

三、其他國家的雷射武器發展

在美俄與歐洲國家外，中國和以色列等國同樣在投注雷射武器的發展。2018 年 11 月的珠海航展中，中國正式展示其航天三江集團研發的 3 萬瓦等級雷射武器「LW-30 激光防禦武器系統」。根據航展上對此種武器的解釋，中國的 LW-30 與前述多種雷射武器用途相仿，以對抗光電導引系統、無人機及 C-RAMM 等為主要任務目標。

以色列拉斐爾先進防禦系統公司 (Rafael Advanced Defense Systems) 在 2014 年推出的「鐵光束」(Iron Beam) 防禦系統，同樣以防禦 C-RAMM 作為其主要任務，由於以色列經常需與哈馬斯 (HAMAS) 及真主黨 (Hezbollah) 等對手交戰，經常遭遇迫砲甚至火箭攻擊，因此以色列發展了包含「鐵穹」(Iron Dome) 在內的多種 C-RAMM 武器，「鐵光束」可說是此類武器的進一步發展，針對此類攻擊及日益猖獗的小型無人機，成本較低廉的雷射顯然是較「鐵穹」在內各種飛彈武器更為適宜對抗此類不對稱攻擊。

另一個值得注意的國家是土耳其，2019 年 8 月 3 日，利比亞「民族團結政府」(Government of National Accord, GNA) 運用土耳其製的 5 萬瓦雷射防禦系統擊落對手由阿拉伯聯合大公國提供的中國製「翼龍 2 型」(Wing Loong II) 軍用無人機，顯示土耳其可能已領先於其他各國，率先將此類武器投入運用，並在北非衝突中進行測試。²⁰

¹⁸ Pierre Tran, "French Investments in Laser Weapons: ONERA at the Paris Air Show 2019,"

¹⁹ "Pilot Project and Preparatory Action on Defence Research," *European Defence Agency*, July 8, 2019, <https://www.eda.europa.eu/what-we-do/activities/activities-search/pilot-project-and-preparatory-action-for-defence-research>.

²⁰ "Libya's GNA forces shoot down UAE-purchased Chinese drone near Misurata," *Libya Express*, August 3, 2019, <https://www.libyanexpress.com/libyas-gna-forces-shoot-down-uae-purchased-chinese-drone-near-misurata/>; "Turkey uses laser weapon technology to shoot down Chinese UAV Wing Loong II in Libya," *Army Recognition*, August 12, 2019, https://www.armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/turkey_uses_laser_weapon_technology_to_shoot_down_chinese_uav_wing_loong_ii_in_libya.html.

參、極音速武器與長程打擊武器

極音速一般指以超過音速 5 倍或更快速度在大氣中飛行的載具或武器。²¹除了極音速飛行器外，在武器方面，包括「極音速巡弋飛彈」(Hypersonic Cruise Missile, HCM)及「極音速滑翔載具」(Hypersonic Glide Vehicle, HGV)兩種型式，前者是由地面、飛機或船艦上發射，後者由飛彈或火箭發射，在「彈頭」重返大氣層時藉重力加速度達到高速。

美國發展目標曾經是「傳統迅捷全球打擊」(conventional prompt global strike, CPGS)計畫，但近年研究則聚焦在短程及中程的極音速滑翔載具及極音速巡弋飛彈(hypersonic cruise missile)上，用以應付區域衝突。這是因為中國及俄羅斯也在加速發展極音速武器，並獲得成功，使得美國受到嚴重威脅。

一、中國極音速武器發展

2019 年 10 月 1 日，中國在其建政 70 周年閱兵時展出多種新型號武器，其中極音速武器「東風 17」受到矚目。東風 17 可能是其過去的 WU-14 極音速實驗載具的服役型式，其「彈頭」部分為極音速載具，採乘波體設計，由一具東風 16 飛彈的單級火箭推進，東風 16 射程超過 1,000 公里，東風 17 則約在 1,800 至 2,500 公里左右，屬中程彈道飛彈等級。2017 年 11 月，中國進行 2 次「東風 17」的測試，第一次在內蒙古酒泉發射中心發射，飛行時間 11 分鐘，飛行距離約 1,400 公里，飛行高度約 60 公里，據說目標精度達 10 公尺直徑左右。至於飛行速度，美國認為約 5 馬赫，俄方則估計約 8-10 馬赫。

傳統彈道飛彈將彈頭髮射至太空，再依計算的軌跡重返大氣層，藉重力加速度擊中目標，若是中程飛彈，重返大氣層的速度約在 8 馬赫左右，遠程彈道飛彈重返速度則可達 20 馬赫，彈道飛彈的彈頭通常沒有動力，因大氣層有阻力，速度會逐漸衰減。極音速滑翔載具則是用火箭將「彈頭」或載具加速到高超音速，進入太空後結束彈道飛行狀態，在大氣層邊緣以極音速「滑翔」，藉助空氣動力調整與變軌，使其飛行軌道複雜化。此一彈道被稱為「錢學森彈道」(Trajectory of Qian Xuesen)，讓彈頭在 20 至 100 公里高度「滑翔」，再進入大氣層，因此又稱助推滑翔彈道。

「東風 17」是世界上第一種進入服役測試的極音速滑翔載具。美國情報單位估計「東風 17」可在 2020 年達到初始戰力。「東風 17」將可加強中國的核嚇阻力量，因為它能穿透美國的飛彈防禦網，美式的飛彈防禦系統是依彈道飛彈的拋物線計算軌跡，錢學森彈道的飛行軌跡無法預測，傳統飛彈防禦系統難以攔截。「東風 17」也被認為可能破壞印太地區的穩定，因為它會使飛彈擊中目標前的反應時間縮短至幾分鐘，大幅壓縮鄰國領導者的決策時間。

²¹ Yasmin Tadjdeh, "SPECIAL REPORT: Defense Department Accelerates Hypersonic Weapons Development," *National Defense Magazine*, July 11, 2019, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2019/7/11/defense-department-accelerates-hypersonic-weapons-development>.

目前中國打擊美國海軍的主要武器是「東風 21D」及「東風 26」，「東風 17」號稱「新航艦殺手」，服役後將使中國反艦彈道飛彈體系更加完整，對西太平洋的美國海軍航艦構成全新威脅。²²

另外，中國也在 2018 年 8 月成功測試星空 2 號極音速實驗載具，星空 2 號由一具單級火箭推進，獨立飛行時可進行機動，維持 5.5 馬赫速度超過 400 秒，最大速度達到 6 馬赫，約為時速 7,344 公里，有報導認為這可能轉用於搭載核彈頭，但也有媒體指出，這是中國發展極音速飛機的野心之一。²³

二、俄羅斯極音速武器發展

俄羅斯近年也全力發展極音速武器，外界所知或曾公開過的包括：²⁴

(一) Kh-32，已達作戰部署標準，可搭配核彈頭，據報導最大速度達 4 至 5 馬赫，射程約 1,000 公里。

(二) 伊斯坎德 M (Iskander-M) 及改良型伊斯坎德 M 空射彈道飛彈，已達作戰部署標準，可搭載核彈頭，射程約 700 至 1,000 公里。

(三) Kh-47M2 匕首 (Kinzhal) 飛彈，被稱為「高精確極音速機載飛彈系統」，目前已達作戰部署標準，可搭載傳統及核彈頭，射程達 2,000 公里。2018 年時俄國防部副部長波里索夫 (Yuri Borisov) 說匕首飛彈可由 MiG-31 戰機攜帶，塔斯社 (TASS) 也稱其為空射彈道飛彈，另外該飛彈應也可由 Su-34 打擊戰鬥機，或 Tu-22M 逆火式轟炸機攜帶。

(四) 縮小版的匕首飛彈，由 Su-57 戰機攜帶。

(五) 前衛 (Avangard) 極音速洲際彈道飛彈，彈道採推進—滑翔 (boost-glide) 式，據說在技術上有真正突破，曾在 2018 年試射成功，2019 年已開始部署。

(六) 3M22 鋯石 (Zircon) 極音速巡弋飛彈，射程可達 1,000 公里，速度可達 9 馬赫，另有說法指其射程可達 2,000 公里，數年後可完成作戰部署。

極音速武器極難攔截，主要原因是其速度及機動能力。反飛彈系統的動能攔截器也需要高速及機動力以攔截彈道飛彈，它們必須追蹤彈道飛彈一段時間。普通的彈道飛彈彈道高很多，可以在更長時間以雷達偵測及追蹤，但極音速武器在大氣中飛行的軌跡很低，完全進入大氣飛行時，便難以被固定的地面雷達探測及追蹤，而且它還能躲避追蹤。即使防禦系統的雷達有能力追蹤極音速武器，其可

²² Jon Lockett & Debbie White, "China unveils terrifying Dongfeng-41 nuke that 'can strike US in 30 minutes with TEN warheads' at 70th anniversary parade," *the Sun*, October 1, 2019, <https://www.thesun.co.uk/news/10039105/china-set-to-unveil-dongfeng-41-nuke-that-can-strike-us-in-30-minutes-at-70th-anniversary-parade/>.

²³ Liu Zhen, "China's hypersonic aircraft, Starry Sky-2, could be used to carry nuclear missiles at six times the speed of sound," *South China Morning Post*, August 6, 2018, <https://www.scmp.com/news/china/diplomacy-defence/article/2158524/chinas-hypersonic-aircraft-starry-sky-2-could-be-used>.

²⁴ Mark B. Schneider, "Russian Hypersonic Missiles Have 1 Goal (And They Might Be Unstoppable)," *National Interest*, September 11, 2019, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/russian-hypersonic-missiles-have-1-goal-and-they-might-be-unstoppable-79591>.

防禦區域也會被縮小。這些俄製極音速武器使其可用於突襲美國國家指揮機構，因為它們很少有堅固掩體，使其在面對這種新式突襲手段時顯得脆弱。²⁵

有報導指出，俄羅斯正發展 KH-MT 飛彈，採衝壓推進，可由 Tu-95MSM 轟炸機攜帶。9M730 海燕 (Burevestnik) 飛彈是一種核動力極音速巡弋飛彈，其技術難度較超音速巡弋飛彈更高，而且危險甚高，俄羅斯在 2019 年 8 月的試驗過程中，曾發生工廠爆炸的嚴重意外，5 名工人喪生，且造成輻射污染。核動力飛彈是使用核分裂產生的高熱來產生推力。過去美蘇都發展過核動力飛機，但從未真正使用核動力驅動發動機，因此使用核動力飛彈，不論是否使用核彈頭，即使在承平時期的，其核污染的問題仍會受到西方國家關注。²⁶

因「大國競爭」再起，冷戰結束後一度被放棄的武器，有可能因而恢復發展，也可能掀起新一波軍備競賽。俄羅斯也加速極音速武器的服役，在 2019 年底之前，前衛極音速飛彈可能會進入服役。²⁷俄羅斯海軍也可能首先部署潛射式極音速飛彈，成為第一個擁有潛射極音速武器的國家。²⁸

三、美國極音速武器發展

2008 年，美國國防部的國防先進研究計畫署 (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) 即已在研究極音速技術，當時目的在發展快速全球打擊能力，但未繼續發展。2010 年，美國空軍實驗室 (Air Force Research Laboratory, AFRL) 與 DARPA 聯合發展 X-51 「乘波者」(WaveRider) 極音速載具，採用超音速衝壓發動機技術，藉衝擊波形成壓縮升力，但未能完成測試。2018 年 AFRL 再進行低成本極音速試驗，即 X-60A，預計達到 8 馬赫的高速，但僅供研究。2019 年 5 月海軍航太展覽會 (Sea Air Space 2019) 上，洛克希德馬丁展出一具極音速飛行器模型，可能是延續 HTV-2 極超音速飛行載具計畫的努力，另外也展出可能供 F-35C 掛載的極音速巡弋飛彈概念。²⁹

美國總統川普 2018 年決定退出《中程飛彈條約》(Intermediate-Range Nuclear Forces Treaty, INF)，並於 2019 年 8 月正式退出。目前極音速武器已是美國最高優先發展項目，至少有 6 種極音速武器正在發展，其中兩項由空軍主導，兩項由

²⁵ Mark B. Schneider, "Russian Hypersonic Missiles Have 1 Goal (And They Might Be Unstoppable)," *National Interest*, September 11, 2019, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/russian-hypersonic-missiles-have-1-goal-and-they-might-be-unstoppable-79591>.

²⁶ Fabian Schmidt "Russia's nuclear-powered cruise missile, fact or fiction?" *Deutsche Welle*, August 08, 2019, <https://www.dw.com/en/russias-nuclear-powered-cruise-missile-fact-or-fiction/a-50024689>.

²⁷ Pranz-Stefan Gady, "Russia: Avangard Hypersonic Warhead to Enter Service in Coming Weeks," *The Diplomat*, November 14, 2019, <https://thediplomat.com/2019/11/russia-avangard-hypersonic-warhead-to-enter-service-in-coming-weeks/>.

²⁸ H I Sutton, "Russian Navy To Be First To Field Hypersonic Cruise Missiles On Submarines," *Forbes*, September 15, 2019, <https://www.forbes.com/sites/hisutton/2019/09/15/russian-navy-to-be-first-to-field-hypersonic-cruise-missiles-on-submarines/#4e8f0596542c>.

²⁹ Xavier Vavasseur, "SAS 2019: Lockheed Martin's Hypervelocity Missile For F-35C," *Naval News*, May 9, 2019, <https://www.navalnews.com/event-news/sas-2019/2019/05/sas-2019-lockheed-martins-hypervelocity-missile-for-f-35c/>.

DARPA 與空軍合作，海軍及陸軍各有一項，³⁰主要技術包括使用超音速衝壓發動機 (Scramjet)，由飛機攜帶，在空中發射，以及推進—滑翔技術，將彈頭打至太空，在落下過程中以重力迫使加速打擊目標：³¹

(一) 空軍極音速武器計畫：

美國空軍在 2018 年開始推動空射式超音速反艦飛彈的發展，由於極音速發動機技術較困難，藉 2016 會計年度國會授權，先行發展 2 具原型供測試使用。這項合約在 2018 年 4 月由洛克希德馬丁獲得，價值 4 億 8 千萬美元。同年 8 月，空射快速反應武器 (air-launched rapid response weapon, ARRW) 被賦予 AGM-183A 的編號。2019 年 6 月 12 日，1 架 B-52 轟炸機首次進行 AGM-183 空射實驗。AGM-183 使用超音速衝壓技術，但僅有感測器，且未在試驗中投擲，³²只用來蒐集飛機操作與環境參數。



圖 6-3、AGM-183 極音速武器

資料來源：舒孝煌攝影。

說明：美國空軍的 AGM-183 飛彈已於 2019 年 6 月首度進行飛行試驗。

另一項計畫是「極音速傳統打擊武器」(Hypersonic Conventional Strike Weapon, HCSW)，2018 年 4 月選定洛克希德馬丁發展，負責設計、發展、工程、系統整合、測試、後勤計畫、以及與飛機的整合等，目的在運用已成熟的技術並

³⁰ Sydney J. Freedberg Jr., “Hypersonics Won’t Repeat Mistakes Of F-35,” *Multimedia Report: Missile Defense*, March 13, 2019, <https://breakingdefense.com/2019/03/hypersonics-wont-repeat-mistakes-of-f-35/>; Brian Wang, “First US Hypersonic Interceptor Defense Test Scheduled for 2020,” April 17, 2019, *NetBig Future*, <https://www.nextbigfuture.com/2019/04/first-us-hypersonic-interceptor-defense-test-scheduled-for-2020.html>.

³¹ Kyle Mizokami, “The U.S. Air Force Is Pushing for a Hypersonic Strike Weapon,” *Popular Mechanics*, Jun 11, 2018, <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a21239436/us-air-force-hypersonic-strike-weapon/>.

³² “AGM-183A Air-Launched Rapid Response Weapon - ARRW / Arrow,” *GlobalSecurity*, <https://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/agm-183.htm>.

加以整合，與 ARRW 不同，HCSW 使用固態燃料火箭，具備 GPS 導引能力，³³將用以打擊高價值及具急迫性目標。空軍計畫在 2021 年試射 HCSW。³⁴

在空軍與 DARPA 合作發展的兩項計畫中，其中之一是「戰術助推滑翔」(Tactical Boost Glide, TBG)，³⁵另一是「極音速進氣武器」(Hypersonic Air-Breathing Weapon, HAWC)。TBG 目的在發展與展示一種空射、戰術層級的極音速助推滑翔系統，由火箭把彈頭推至高速，接著與火箭分離，以無動力方式滑翔打擊目標。TBG 將運用全新概念的推進系統，允許更佳的控制性及可操縱性，預計射程為 500 哩。TBG 包括地面及飛行測試兩階段，主要目標為驗證載具的可行性，包括其氣動力學、氣動熱力性能、可操縱性、操作有效性及可負擔性，³⁶新發展合約在 2019 年 5 月由雷神公司獲得。³⁷

HAWC 發展合約則由雷神和諾斯洛普格魯曼獲得，總值 2 億美元。TBG 和 HAWC 是兩種不同的極音速推進概念，³⁸HAWC 也是空射型，預計也要以 B-52 搭載。³⁹目的在發展具備極音速飛行的先進機體結構、碳氫超音速衝壓推進技術。諾斯洛普格魯曼將負責發展超音速衝壓發動機，用以推進雷神生產的彈體。2 家公司已在 2019 年巴黎航展時宣布結盟。⁴⁰極音速衝壓發動機困難之處，在於要將進入發動機的空氣流維持在超音速，這容許載具可以較高速度及高度飛行，因空氣密度降低，也可降低機身磨擦產生的高熱。2019 巴黎航展時波音公司也表示美國空軍新採購的 F-15EX，將可掛載極音速武器。

(二) 海軍

海軍「傳統快速打擊武器」(Conventional Prompt Strike, CPS) 是延續先前的「傳統快速全球打擊」計畫 (Conventional Prompt Global Strike, CPGS)，⁴¹曾包

³³ Brian Wang, "First US Hypersonic Interceptor Defense Test Scheduled for 2020," April 17, 2019, *NetBig Future*, <https://www.nextbigfuture.com/2019/04/first-us-hypersonic-interceptor-defense-test-scheduled-for-2020.html>.

³⁴ Valerie Insinna, "Lockheed nabs another big hypersonic weapons contract", *DefenseNews* August 14, 2018, <https://www.defensenews.com/air/2018/08/14/lockheed-nabs-another-big-hypersonic-weapons-contract/>.

³⁵ Yasmin Tadjdeh, "Just In: Two Different DARPA Hypersonic Vehicles 'On Track' to Fly in 2019," *National Defense*, May 1, 2019, <http://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2019/5/1/just-in-darpa-hypersonic-vehicle-prototypes-to-fly-in-2019>.

³⁶ Peter Erbland, "Tactical Boost Glide (TBG), Defense Advanced Research Projects Agency, <https://www.darpa.mil/program/tactical-boost-glide>.

³⁷ Guy Norris, "Lockheed Hypersonic Missile Unveiled As AGM-183A," *Aviation Week Network*, August 7, 2018, <https://aviationweek.com/air-dominance/lockheed-hypersonic-missile-unveiled-agm-183a>.

³⁸ Yasmin Tadjdeh, "Just In: Two Different DARPA Hypersonic Vehicles 'On Track' to Fly in 2019," *National Defense*, May 1, 2019, <http://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2019/5/1/just-in-darpa-hypersonic-vehicle-prototypes-to-fly-in-2019>.

³⁹ Robin Hughes, "Raytheon prepares for first flight of HAWC prototype demonstrator," *Jane's 360*, June 21, 2019, <https://www.janes.com/article/89437/raytheon-prepares-for-first-flight-of-hawc-prototype-demonstrator>.

⁴⁰ David Szondy, "Northrop Grumman and Raytheon team up to develop air-breathing hypersonic missile", *New Atlas*, June 19, 2019 <https://newatlas.com/raytheon-northrop-grumman-hypersonic-air-breathing-missile-agreement/60203/>; Robin Hughes, "Raytheon prepares for first flight of HAWC prototype demonstrator," *Jane's 360*, June 21, 2019, <https://www.janes.com/article/89437/raytheon-prepares-for-first-flight-of-hawc-prototype-demonstrator>.

⁴¹ Colin Clark, "Army Moves Out on Lasers, Hypersonics: Lt. Gen. Thurgood," *Breaking Defense*,

括陸軍 AHW、HTV-2 等，2020 年由海軍接手，改成傳統快速打擊武器，海軍曾在 2017 年測試極音速武器成功，由夏威夷發射一枚武器擊中馬紹爾群島的目標區。洛克希德馬丁於 2019 年 4 月再獲得價值 25 億美元的合約，這是在海軍戰略系統計畫 (SSP) 項下的「中程傳統打擊武器系統」(Intermediate Range Conventional Prompt Strike Weapon System, IRCPS) 的早期發展階段，目標在發展一種可在 2025 年服役的極音速滑翔武器。海軍也與陸軍緊密合作，開發數種不同的平台。海軍在 2017 年就曾成功發射一枚極音速滑翔武器擊中目標。⁴²

未來海軍的 CPGS 將配備在潛艦及水面艦，為了容納新飛彈，海軍考慮發展新的垂直發射系統，安裝在勃克級驅逐艦上，並結合神盾作戰系統，未來也會配備在大的大型水面艦上。

(三) 陸軍

陸軍「陸基極音速飛彈」(Land-Based Hypersonic Missile) 計畫，預計在未來 5 年投資 12 億美元，並與海軍及空軍合作，期待在 2023 年進行測試。2012 年陸軍曾成功測試先進極音速武器概念 (Advanced Hypersonic Weapon, AHW)，速度曾達到 8 馬赫，射程達到 6,000 公里。⁴³目前 ATACMS 射程僅約 300 公里，陸基極音速飛彈射程則可達 1,600 公里。⁴⁴陸軍「多領域作戰」概念中，遠程打擊是極重要部分，可使陸軍從傳統陸上作戰角色轉變成長程打擊火力的完全夥伴。陸軍極音速飛彈可與海空軍共用載具，由陸上車輛載運，具陸上機動能力。

四、其他國家的極音速載具發展

由於極音速載具的技術並非全新的獨家概念，因此除了美、俄、中等國具備在此領域中最頂尖的技術外，尚有多個國家投身其中並取得一定成果，如澳洲、印度、法國、德國等，另外日本也在 2018 年時宣布將研發「島嶼防衛用」高速滑空彈等，顯示相關技術逐漸擴散。就近期的武器化發展來說，印度在與俄羅斯合作的 BrahMos II 極音速巡弋飛彈以外，也正在研發自製的類似裝備，並在 2019 年 6 月成功測試 6 馬赫的超燃衝壓發動機；而法國在其 V-max (véhicule manoeuvrant expérimental) 實驗機動載具計畫下，修改超音速空對地飛彈 ASN4G，使其在 2022 年前能具備極音速飛行能力，⁴⁵預期在 2035 年服役時，成為法國核

May 24, 2019, <https://breakingdefense.com/2019/05/army-moves-out-on-lasers-hypersonics-lt-gen-thurgood/>.

⁴² Sam LaGrone, Lockheed Martin Working \$2.5B in Hypersonic Weapon Contracts, *USNI News*, April 23, 2019, <https://news.usni.org/2019/04/23/lockheed-martin-working-2-5b-in-hypersonic-weapon-contracts>.

⁴³ Joseph, Trevithick, "Here's What the Army's First Ever Operational Hypersonic Missile Unit Will Look Like," *the Drive*, June 3, 2019, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/28340/heres-what-the-armys-first-ever-operational-hypersonic-missile-unit-will-look-like>.

⁴⁴ Colin Clark, "Army Moves Out on Lasers, Hypersonics: Lt. Gen. Thurgood," *Breaking Defense*, May 24, 2019, <https://breakingdefense.com/2019/05/army-moves-out-on-lasers-hypersonics-lt-gen-thurgood/>.

⁴⁵ Kelley M. Saylor, "Hypersonic Weapons: Background and Issues for Congress," *Congressional Research Service*, September 17, 2019, p. 15, <https://fas.org/sgp/crs/weapons/R45811.pdf>.

子打擊能力未來的重要關鍵。⁴⁶德國雖然曾在 2012 年時成功測試 SHEFEX II 極音速滑翔載具，但目前的武器化計畫卻將重點放在較為「防禦性」的方面，將研發速度能超越 5 馬赫的反戰車飛彈，以對抗日益增強的主動防護系統，並考慮在未來將極音速載具技術投入研發飛彈防禦系統。⁴⁷

日本在 2018 年宣布將研發「島嶼防衛用高速滑空彈」後，更在新版的防衛計畫大綱（又稱「30 大綱」）中更明白宣布，將建立兩個裝備此種極音速武器的大隊（營）。此「高速滑空彈」研發計畫已由 2018 年開始，預期在 2025 年為部隊配備初期型第一批次（Block 1）量產型，隨後的第二批次才裝上「乘波體」彈頭，兩階段的研發顯示了日本希望盡可能運用較成熟的技術，縮短新式裝備服役的時間，並可持續透過自衛隊驗證、改良裝備的技術甚至運用方法等。⁴⁸

肆、人工智慧與無人載具的運用

一、結合人工智慧的忠誠僚機

「忠誠僚機」(Loyal Wingman) 目的在使無人機真正與有人機伴隨作戰，減少有人戰機遭受攻擊的威脅，然而這必需結合人工智慧，使其能真正自主飛行。波音公司 2019 年 2 月接受澳洲空軍委託發展忠誠僚機計畫，⁴⁹這被稱為「空權團隊系統」(Airpower Teaming System, ATS)，2019 年 11 月 18 日首度完成自主飛行，使該計畫成功邁出一大步。⁵⁰波音使用一種小型的噴射動力實驗機，首次進行半自主式聯合飛行，同時也測試噴射機間安全溝通及協調能力，該 2 架無人噴射機以時速約 186 哩速度飛行，波音並未說明詳細內容，僅表示未來將進行更複雜的機動動作，並增加編隊機數，以及更複雜任務。這是澳洲空軍「空權團隊系統」發展的一部分，其最終目的是要讓有人機與無人機搭配執行任務，並運用新控制架構以自主維持與其他飛機的編隊飛行，並執行任務。

澳洲空軍希望這種無人噴射機可以飛行 2,000 哩，與澳洲空軍各種有人飛機一起執行任務，包括 F-35A、F/A-18E/F、EA-18G、E-7A 預警機及 P-8 巡邏機等。無人機將採模組化設計，容許快速轉換模組並重新配置，以執行各種不同任務。無人機需具備某種程度自主權，其程度多寡取決於系統的搭配、其中角色及工作

⁴⁶ “MBDA opens data centre in France for missile development,” *Air Force Technology*, April 5, 2019, <https://www.airforce-technology.com/news/mbda-data-centre-france-missiles/>.

⁴⁷ Michael Peck, “Germany Is Now Building Hypersonic Weapons,” *National Interest*, June 7, 2019, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/germany-now-building-hypersonic-weapons-61652>.

⁴⁸ 〈裝備庁の高速滑空弾開発、25 年度には部隊配備へ〉，《WING》，2019 年 11 月 14 日，<http://www.jwing.net/news/18912>。

⁴⁹ “Boeing accelerates ‘Loyal Wingman’ drone program,” *Defense-blog*, August 16, 2019, <https://defence-blog.com/army/boeing-accelerates-loyal-wingman-drone-program.html?fbclid=IwAR0fVKv0hzadJWSupUIGHnFxOnYnPjpciipcsCJV2jL46eoNYCKEnZfKGM>.

⁵⁰ Joseph Trevithick, “Boeing Conducts Flight Test of Surrogate Drones for Australia's Loyal Wingman Program,” *the Drive*, November 19, 2019, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/31104/boeing-conducts-flight-test-of-surrogate-drones-for-australias-loyal-wingman-program>.

分配。雖然因運用人工智慧，可將人從決策循環中抽離，但仍需保持控制，其操作程式的某個部分，可以由地面站、製造商，或由戰機上傳。⁵¹

該計畫的核心是匿蹤無人僚機的發展。AFRL 的 XQ-58 女武神 (Valkyrie) 已分別在今年 3 月及 6 月成功完成 2 次僚機試飛。空軍打算與洛克希德馬丁及波音合作，使 F-35A Block4 及 F-15EX 都能容納資料鏈及處理器，以便與無人機搭配作戰。

XQ-58 是美國空軍快速發展全翼式匿蹤武裝無人機計畫的努力之一，「天空堡壘」(Skyborg) 計畫則是整合有人機及無人機的軟體與硬體。未來空軍戰鬥機的僚機將不再是有人駕駛的隊友，而是無人戰機。美國空軍將以廉價的 XQ-58 與 F-35A 或 F-15EX 聯手，減少空中高價戰機的數量，並降低成本及飛行員要負擔的風險。XQ-58 價值僅數百萬美元，可成為 F-35 的戰力倍增器。該計畫在人工智慧方面投注大量資金及人力，預計在 2023 年達到作戰能力。在天空堡壘計畫下，有人戰機仍是整個作戰網路的中心，XQ-58 無人機則在周邊展開，由人工智慧控制無人機、處理遙測資料、擬訂飛行計畫，並獲取目標。

為發展忠誠僚機計畫，美國空軍第 412 測試聯隊使用特殊的測試手段，在 2019 年進行「複雜環境下自動化操作」(Testing of Autonomy in Complex Environments, TACE) 飛行測試，以手持式「褐雨燕」(Swift) 小型無人機進行測試，並蒐集測試資料供發展自主化操作的參考。TACE 使用一套自動飛行演算法控制飛機，其中兩項機制，一是自主監控，若在自動飛行過程中違反安全參數，例如接近其他飛機、飛出空域或失去與地面控制站接觸，便會中止自主飛行，回到安全空域巡航。第二是即時虛擬及建構 (Live Virtual Constructive, LVC)，允許模擬實體與真實飛機互動，將數位化方法、模擬器與真實裝備結合。⁵²

這符合美國空軍 2019 年 4 月所發布《科學及技術戰略：強化美國空軍 2030 年及以後之科技》報告 (Science and Technology Strategy: Strengthening USAF Science and Technology for 2030 and Beyond) 的目標，即發展低成本且數量大的平台，藉 AI 與多領域指揮管制等方式，以恢復美國的空中優勢。⁵³

美國空軍認為現有無人機系統將很快落伍，傳統情監偵體系也將失去意義。美國空軍要運用更多人工智慧、雲端運算、無人機集群操作等技術，維持美國空權優勢。人工智慧將是無人機核心，可協助操作飛機，並主動識別目標，飛行員不再需要使用肉眼識別目標，所有訊息都會集中在感測器的「網格」(Grid) 上。

54

⁵¹ Joseph Trevithick, "Boeing Conducts Flight Test of Surrogate Drones for Australia's Loyal Wingman Program," *War Zone*, November 19, 2019, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/31104/boeing-conducts-flight-test-of-surrogate-drones-for-australias-loyal-wingman-program>.

⁵² William Kucinski, "Air Force tests fully autonomous UAS control system," *SAE International*, March 12, 2019, <https://saemobilus.sae.org/automated-connected/news/2019/03/air-force-tests-fully-autonomous-uas-system>.

⁵³ "Science and Technology Strategy: Strengthening USAF Science and Technology for 2030 and Beyond," *Air Force Research Laboratory*, April 17, 2019, <https://afresearchlab.com/wp-content/uploads/2019/04/Air-Force-Science-and-Technology-Strategy.pdf>.

⁵⁴ Paul McLeary, "USAF Wants Drone Swarms, AI to Buy Space," *BreakingDefense*, August 02, 2018,

二、無人機集群技術

DARPA 正在實驗使用自動化操作的集群無人機及機器人協助執行軍事任務，2019 年 6 月於美國喬治亞州進行一項測試，是「攻勢型集群能力戰術」(Offensive Swarm-Enabled Tactics, OFFSET) 計畫的一部分，讓小型無人機及地面機器人伴隨一支小規模步兵部隊，在密集的城鎮環境中工作，最終其規模會擴大至 250 架無人機及地面機器人，未來則會持續增加任務的複雜度。

集群式無人機在戰場上可能有許多戰術潛力。個別式無人機雖然有助觀測戰場情況，但要躲藏不被無人機發現並非難事。DARPA 認為大量的集群式無人機可以協助作戰單位對周邊環境的全面性瞭解。

另一個 DARPA 的計畫是「X 班」(Squad X)，這是另一項開發「有人—無人」團隊潛力的計畫，即讓現場士兵使用無人機及機器人的人工智慧技術來蒐集周邊環境的大量訊息。美國陸軍近期也開始測試步兵單位使用掌上型無人機的情況，用以傳送影像及其他資訊。⁵⁵

相反的，陸軍同樣也在測試如何消滅敵人的集群式無人機。美國空軍展示使用一種工具，稱為「雷神索爾」(THOR)，這是一種微波傳送器，用以清除大量無人機。美國海軍則是在波斯灣使用一種稱為「輕型陸戰隊空防整合系統」(Light Marine Air Defense Integrated System, LMADIS)，成功在數千碼距離擊落伊朗無人機。⁵⁶

DARPA 在 2018 年 11 月推動「在拒止環境中協同操作」(Collaborative Operations in Denied Environment, CODE) 研究計畫，測試無人機協同實戰測試，⁵⁷目的在驗證高度電子戰環境下，通訊與衛星定位訊號受干擾時，無人機能以高度自動化方式協同運作。⁵⁸ CODE 計畫著重改善協調自主能力，由單一人員操作整個集群式無人機群，可持續評估本身情況與作戰環境，並向操作者提供協調行動建議，操作人員則決定是否同意，並指導任務變更。

無人機集群式自動化飛行需彼此協調，避免互撞，自行定位並保持相對位置，每架無人機都不需要操作人員，形成一個整體。具 CODE 能力的無人機將根據既定接戰規則進行接戰。操作人員則進行最少的監督，並配合動態情況如友軍消耗或是應付緊急威脅。

<https://breakingdefense.com/2018/08/usaf-wants-drone-swarms-ai-to-buy-space>.

⁵⁵ Jay Peters, "Watch DARPA test out a swarm of drones," *the Verge*, August 9, 2019, <https://www.theverge.com/2019/8/9/20799148/darpa-drones-robots-swarm-military-test>.

⁵⁶ Ibid.

⁵⁷ "CODE demonstrates autonomy and collaboration with minimal human commands," *Space Daily*, November 20, 2018, http://www.spacedaily.com/reports/CODE_demonstrates_autonomy_and_collaboration_with_minimal_human_commands_999.html.

⁵⁸ Patrick Tucker, "The US Military's Drone Swarm Strategy Just Passed a Key Test," *Defense One*, November 21, 2018 <https://www.defenseone.com/technology/2018/11/us-militarys-drone-swarm-strategy-just-passed-key-test/153007>.

三、無人艦艇

海軍正在進行兵推和原型發展，以便了解無人機及無人水面艦艇將如何適應艦隊，以及濱海作戰艦（Littoral Combat Ship, LCS）如何在全球擴展其存在。目前海軍正持續進行無人戰機及無人艦艇如何與有人駕駛船艦併肩作戰，並為戰鬥做出貢獻的測試。

目前海軍已經擁有 2 艘大型無人艦，即「海獵人」（Sea Hunter），可讓船隻轉移至自主控制系統，目前已完成第一階段測試，確保無人艦可在海上按照航行規則自主航行，另外也確認其船體設計、機械和電子系統能可靠支持海上航行，無需要維修人員隨時待命，確保其完成航行任務。

海軍計畫再採購 2 艘無人艦，持續進行導航等更高階的工作，並搭載海軍的作戰裝備及指管通情系統。海軍為大型無人水面艦（Large USV, LUSV）所進行的測試工作中，有些是已知的技術，例如自主航行工作，主要集中在導航、避碰，及與海上其他船隻互動，並確保 LUSV 本身系統的運作正常。LUSV 也還沒有涉及到自主發射武器的階段。⁵⁹

有關武器交戰的決定，海軍高階官員指出，作戰計劃仍是人為制定的。海軍部署 LUSV 受到關注，基本上海軍希望 LUSV 擔任類似「無人飛彈卡車」的角色。有人操作的神盾戰系驅逐艦會被告知要使用本身的感測系統，向艦艇本身看不到的視距外目標發射武器，LUSV 的運作方式其實大致相同，戰鬥人員仍然會對致命的接戰做出決定，只是他們並不會登上無人艦。

然而，其他操作及運用無人艦的定義仍然缺乏，例如運用無人艦的戰術戰法，以及接戰規則等，無人艦有可能接受其他艦艇指令後發射武器，但還不會自己使用艦上感測器自主發射武器，也不會發射武器進行自衛，這也表示，無人艦目前會緊密跟隨驅逐艦、濱海作戰艦或其他艦艇，擔任保護及必要時犧牲的角色。

海軍官員認為目前無人系統仍處在「提問階段」，建造無人艦的原型並進行實驗，仍是度過這段時間並繼續尋求答案的唯一方法。

四、人工智慧在國防領域的運用與限制

人工智慧是快速發展的領域，可能對國家安全產生重大影響。美國國防部或其他國家都在開發運用人工智慧的一系列技術，以便運用在作戰上，目前人工智慧被運用在情報蒐集及分析、物流，網路及資訊作戰、指揮管制，以及一系列自動及半自動航行等領域。人工智慧已被運用在伊拉克和敘利亞境內的軍事行動中。國會可能進一步干預技術發展，而預算和立法也決定軍事應用的成長及採用的速度。

⁵⁹ Megan Eckstein, "Unmanned Vehicle Operations, Global LCS Support Informed by Ongoing Wargaming, Prototyping," *USNI News*, November 11, 2019, <https://news.usni.org/2019/11/21/unmanned-vehicle-operations-global-lcs-support-informed-by-ongoing-wargaming-prototyping?fbclid=IwAR08IzTAX6H135CzoR9PScX0WrbSu4SQiSEsLlO1-LbBNFV-LDEXG4zPol0>.

人工智慧的運用，對軍事整合是一項獨特挑戰。目前人工智慧主要發展仍發生在商業領域。國防採購過程可能需要進行調整以獲取新興技術，人工智慧即是一例。此外，許多商用的人工智慧應用程序也須要先進行重大修改，然後才能運用在軍事用途。文化問題也對人工智慧運用提出挑戰，因為某些資訊產業出於道德考量，不願與國防部合作，甚至在公司內部，也可能存在將人工智慧技術納入現有武器系統和流程的阻力。

人工智慧的潛在國際競爭對手正向美國施加壓力，迫使美國要與對手競爭創新的軍事人工智慧應用。中國是這方面的領導者，曾在 2017 年公布計劃，擬在 2030 年前奪取人工智慧發展的全球領先地位。中國目前主要致力於利用人工智慧做出更快、更明智的決策，還包括發展一系列自動駕駛技術。俄羅斯也積極參與軍用人工智慧的開發，主要側重在機器人技術。

儘管人工智慧能在軍事領域賦予許多優勢，但也會帶來不同的挑戰。例如，人工智慧技術可以促進自主行動，導致更明快的軍事決策，並提高作戰速度和規模。但是，人工智慧也可能是不可預測，或易受獨特形式的操縱而影響。由於這些因素，分析師對人工智慧在未來的作戰行動中將產生怎樣的影響力持有廣泛的看法。不過大多數專家都同意，人工智慧至少會產生革新的影響，即使還不能算是革命。⁶⁰

美國國防部正全力推動人工智慧發展，同時也提出多份文件以指導人工智慧發展，其中 2018 年 11 月公布的《人工智慧戰略摘要：運用人工智慧促進安全及繁榮》（*Summary of the 2018 Department of Defense Artificial Intelligence Strategy: Harnessing AI to Advance Our Security and Prosperity*），認為人工智慧意指機器在執行通常需要人類智慧的任務，例如認知模式、由經驗中學習並得出結論、做出預測及採取行動，無論這是數位化的過程，或是指自主化系統背後的智慧軟體。⁶¹報告認為，人工智慧將會改變每個產業，同時也會對國防部內每個領域產生影響，如作戰、訓練、維持、部隊保護、招聘、醫療保健、保護平民及盟友等等，同時也加速作戰節奏。

2018 年 8 月美國國防部發布的另一份「2017 至 2042 會計年度無人化系統整合藍圖」（*Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2017-2042*）也指出，機器學習（machine learning）是快速成長的領域，包括指揮管制（C2）、導航，智慧化感測器情況覺知、偵測及迴避障礙物、群體行為及戰術，以及與人類互動等。深度學習（deep learning）則可運用許多圖形處理單元、傳統中央處理器及神經元晶片，從大量資料中學習各種模式。⁶²另外，《2018 年美國國防戰略摘要》及《2019

⁶⁰ “Artificial Intelligence and National Security,” *Congressional Research Service*, November 21, 2019, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45178>.

⁶¹ “Summary of the 2018 Department of Defense Artificial Intelligence Strategy: Harnessing AI to Advance Our Security and Prosperity,” U.S. Department of Defense, November 8, 2018, <https://media.defense.gov/2019/Feb/12/2002088963/-1/-1/1/SUMMARY-OF-DOD-AI-STRATEGY.PDF>.

⁶² “Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2017-2042,” U.S. Department of Defense, November 8, 2018, https://www.defensedaily.com/wp-content/uploads/post_attachment/206477.pdf.

年國防授權法案》都要求各軍種發展、測試與運用自動化和人工智慧系統，顯示美軍對人工智慧的重視。

另外，美國國防部成立「聯合人工智慧中心」(Joint Artificial Intelligence Center, JAIC)，領導人工智慧戰略發展，該中心提供人工智慧相關知識，協助開發技術、知識、相關流程，確保該領域的長期發展及可擴展性。JAIC 的任務之一是藉加速交付及採用人工智慧，擴大其對執行任務的影響，並逐漸改變國防部。⁶³

目前人工智慧正逐步擴大在國防上的運用，其中在無人載具的運用上，包括協助分析資料、自動化行駛，並簡化操作程序，另外包括解決自動化操作過程所要面對的問題，如安全航行、避免碰撞、跟隨部隊、與僚機或隊友互動，以及應付天候、地形等障礙，並增加情況覺知能力、強化機動力、保護部隊安全、強化戰力，必要時將能自動接戰。

目前將人工智慧運用在軍用無人載具，主要仍在解決優先問題，即自主航行所要面對的問題，目前能真正面對複雜環境變化的自動化系統仍不存在。軍方需重新審視人工智慧能力的限制因素，重新評估對人工智慧及自動化技術的需求。雖然美軍指揮官對人工智慧尚不能完全信任，但其對手都在全力發展人工智慧，未來有可能因為軍備競賽，導致不成熟的技術被採用，或是無法信任的對手惡意運用，造成無法預測的傷害。

另外，運用人工智慧將不可避免地討論到接戰問題。自主戰鬥無人機是否可以自行觸發扳機？美國，英國和俄羅斯反對聯合國試圖禁止自動殺人機器，顯示各國軍方在此一方向的發展脈絡。隨著自主化系統日益增加，武裝部隊將需面對嚴重的道德問題。一方面，給予無人機自主觸發扳機權力有其意義，F-35 飛行員在進行空戰機動時可能沒有時間發射飛彈。另一方面，人工智慧系統若意外向平民開火，誰該負責？

《人工智慧戰略摘要》中，美國國防部並未提到能獨立思考並作戰的致命武器，目前美軍正在運用的人工智慧技術並不特別，都是專注解決一般問題。不過早在 2012 年，國防部就出版過一分指令，定義自動化武器及如何部署，並明確指出人類仍應保持在此一決策循環內，並詮釋人類需對此類武器保持多少控制。不過完全自主式武器，仍有很長的路要走。另外，人工智慧可能面臨任何意外情況，不是每一個運用軍事力量的對手都能採用同樣的高標準，這是未來要面對的問題。

⁶³ U.S. Department of Defense Chief Information Officer, Joint Artificial Intelligence Center, <https://dodcio.defense.gov/About-DoD-CIO/Organization/JAIC/>.

伍、戰場無人系統

一、戰場無人系統

從前述無人載具運用，可以注意到類似裝備的發展將在未來戰場上有效協助士兵進行任務，成為武裝部隊的重要核心，目前包含美國、歐盟多國、俄羅斯等主要大國皆投注心力在發展戰場無人系統上。單以無人航空系統（Unmanned Aerial System, UAS）來說，目前美軍即已在其包含國民兵在內的四個軍種，操作從輕型的 RQ-11「渡鴉」(Raven)到大型的 RQ/MQ-4「全球之鷹/海神之子」(Global Hawk/Triton) 等，共約 11,000 架各式 UAS，⁶⁴足見無人飛行載具運用數量之龐大；而無人地面載具（Unmanned Ground Vehicle, UGV）也早在地面部隊中負責拆彈等重要角色，因此可說無人載具在各國軍隊中，早已扮演重要角色。

近年，無人系統在戰場上的重要性也逐漸上升，同時並不僅限於飛行載具，陸海等不同場域運用的無人載具皆十分受到各國矚目，例如俄羅斯軍事工業委員會（Russian Military Industrial Committee）便批准了發展計畫，預期將能在 2030 年時使俄羅斯戰力的 30% 由無人遙控與自主的機器人載台組成，⁶⁵以下便從幾個不同層面，藉由近期各領域的無人載具發展，探求未來無人戰場的雛形。

（一）無人飛行載具

「無人飛行載具」(Unmanned Air Vehicle, UAV) 仍是目前無人載具領域中，發展最為興盛的方面。目前 UAV 在戰場上的廣泛運用及其未來性，使得各國軍方皆必須發展自己的無人機機隊，並防範敵人各式無人機威脅。

目前 UAV 已廣泛運用於各地戰場，除了美軍在介入各地時大量運用無人機外，中東及北非各地由於美國對外出口無人機的嚴格管制，轉而大量進口中國製的無人機，同樣廣泛運用在衝突之中。事實上，就無人機技術而言，中東戰場可視為一未來戰場雛形，不僅大型軍用無人機在中東及北非皆受到大量運用外，自殺無人機及小型無人機（包含民用改造用作軍事用途等）的大量創意運用，可見其在未來戰場上的重要性。

葉門武裝團體「青年運動」(Houthi) 在伊朗支援下，不僅裝備了彈道飛彈，也取得多種無人機加以運用。在面對配備西方先進防空裝備（如愛國者飛彈）的沙烏地阿拉伯及阿拉伯聯合大公國時，「青年運動」仍能運用其 UAV 進行創新的不對稱攻擊，值得注意的是，「青年運動」在 2017 年時已被確認獲得伊朗製的「Qasef-1」自殺無人機，這些廉價的自殺無人機被用以壓制阿拉伯聯軍的愛國者飛彈，以掩護其彈道飛彈攻擊。⁶⁶此外，2019 年 9 月 14 日，沙烏地阿拉伯的石

⁶⁴ “Unmanned Aircraft Systems (UAS) DoD: Purpose and Operational Use,” U.S. Department of Defense, <https://dod.defense.gov/UAS/>.

⁶⁵ Andrew Feickert, Jennifer K. Elsea, Lawrence Kapp and Laurie A. Harris, “U.S. Ground Forces Robotics and Autonomous Systems (RAS) and Artificial Intelligence (AI): Considerations for Congress,” *Congressional Research Service*, p.11, November 20, 2018, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45392>.

⁶⁶ Tyler Rogoway, “Suicide Drones Have Migrated To The Conflict In Yemen,” *The Drive*, March 24,

油設施遭遇無人機與巡弋飛彈的長程打擊，這些攻擊成功穿過愛國者與天兵（Skyguard）防空系統，擊中目標；⁶⁷這些運用不但成功的穿透了先進防空系統，也使人有機會一窺未來戰場上無人機的作戰運用方式。

而北非利比亞戰場則由於土耳其與阿拉伯聯合大公國交付大量無人機給予其代理人，因而成為中國製及土耳其製大量 UAV 的戰場，除了前述中國製「翼龍 2 型」遭到擊落外，各種與 UAV 相關的設施如其機場與指管中心等均成為重要打擊目標，UAV 也成為這些武裝團體的「空軍」。⁶⁸然而，目前的軍用無人機在面對高性能防空系統時，可能仍具相當脆弱性，此可由美軍 RQ-4「全球之鷹」（Global Hawk）無人機在 2019 年 6 月遭到伊朗防空飛彈擊落看出，因此在面對可能的大國衝突戰場時，未來無人機的設計將需進一步針對高強度戰場進行最佳化。

（二）無人地面載具

如同 UAV，UGV 概念同樣早在一次大戰時即已出現，在二戰時德國的「歌利亞」遙控炸彈車即可說是 UGV 的雛形。無人地面載具長時間成為拆彈/爆裂物處理單位的最佳夥伴，而近年更因為技術發展，開始出現具備各種感測器擔任 ISR 任務、甚至搭載各式武裝的戰鬥 UGV。目前無人地面載具的發展仍以俄羅斯及歐美為主。

首先值得注意的是近年俄羅斯在 UGV 上投入的發展，在無人地面載具上投注大量心力，並已發展包含「旋風」（Vikhr，以 BMP-3 步兵戰鬥車改裝而成）、「Uran-9」等多種武裝 UGV 進行測試，這些 UGV 能在數公里外進行遙控（Vikhr 遙控距離可達 10 公里，Uran-9 則可在 3 公里外進行遙控），⁶⁹並能搭載包括 30mm 機砲、反戰車飛彈等各式武裝，「Uran-9」甚至以投入敘利亞在內的戰場進行實驗性運用。俄羅斯在 UGV 發展上，相當重視其作為武器載台的作戰用途，「Uran-9」首要的設計目的即為作戰用途，並強調其作為攻擊矛頭進行突破，以及與一般部隊緊密協同作戰等用途。⁷⁰

相較之下，美國在 2017 年 3 月發佈的《美國陸軍機器人與自主系統戰略》（*The U.S. Army Robotics and Autonomous Systems Strategy*）中對武裝 UGV 採取的態度，在近期內仍較俄羅斯略為保守，在該《戰略》中，美軍詳細定義了對 UGV 在戰場上的主要任務，分別是：1. 強化戰場覺知（situation awareness），2. 減低

2017, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/8586/suicide-drones-have-migrated-to-the-conflict-in-yemen>.

⁶⁷ Joseph Trevithick, "Here's All the New Info You Need To Know In The Aftermath Of The Saudi Oil Facilities Attacks," *the Drive*, September 18, 2019, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/29918/heres-all-the-new-info-you-need-to-know-in-the-aftermath-of-the-saudi-oil-facilities-attacks>.

⁶⁸ Peter Brookes and Terre Schroeder, "Game of Drones: Coming to a Military Theater Near You," The Heritage Foundation, October 8, 2019, <https://www.heritage.org/defense/commentary/game-drones-coming-military-theater-near-you>.

⁶⁹ *Ibid.*, p.12.

⁷⁰ Charlie Gao, "Russia vs. America: Which Nation Will Dominate Unmanned Ground Vehicles?" *National Interest*, August 11, 2018, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/russia-vs-america-which-nation-will-dominate-unmanned-ground-vehicles-28407>.

士兵負荷，3. 強化後勤能力維持部隊，4. 強化部隊的運動與機動能力，5. 保護部隊。⁷¹從該《戰略》中的要求來看，美軍在 UGV 的運用上，仍是著眼於無人載具的機動能力（如在人類無法到達的地方行動）、感測能力、運輸能力等，減輕部隊負擔、並且強化對空間的運用能力及作戰縱深；而在保護部隊上，美軍同樣認為 UGV 能強化作戰縱深，增加部隊對抗敵方編隊、火箭火砲等威脅的遠距（standoff）能力，以保護士兵。在技術層面上，美軍在其《美國陸軍機器人與自主系統戰略》中所規劃的未來藍圖顯示美軍預期能在 2021-2030 時開始引進無人作戰車輛，初期預計具備有人駕駛、遙控及半自主技術，並嘗試在此時期及在人工智慧自主操作上取得突破。⁷²

而在目前的發展上，「可置換載人戰鬥車輛」（Optionally Manned Fighting Vehicle, OMFV）計畫，即將前述要求之要素作為其要求之重要性能指標之一。此計畫為美國陸軍目前全力進行之「六大」現代化優先項目（“big six” priorities）中，排名第二的「下一代戰鬥車輛」（Next Generation Combat Vehicle, NGCV）之重要計畫。OMFV 預期將用以取代 M2「布萊德雷」（Bradley）步兵戰鬥車，除了本身將具備無人操作能力外，OMFV 也預期將搭配美軍未來的 UGV-「機器人作戰載具」（Robotic Combat Vehicle, RCV）進行運用，而「有人—無人組合」（manned-unmanned teaming）正是其 OMFV 在設計時所需考量最重要概念。

在美軍的規劃中，預計與 OMFV 搭配運用之 RCV 將分為輕、中、重型等三種形式，未來將擔負從協助 ISR 任務、強化部隊戰場覺知到裝備重型武器實際參與戰鬥（重型 RCV 預計將裝備戰車砲）等各種任務。針對這項計畫，美國陸軍於 2019 年向軍工大廠發出輕型及中型 RCV 需求，而整個計畫預計在 2020 年時開始進行車輛測試。在 2020 年時，美軍將首先運用由 M113 裝甲運兵車改裝而成的 RCV 搭配由 M2 步兵戰鬥車改裝的控制車輛「任務推進科技驗證載具」（Mission Enabler Technologies-Demonstrators）進行測試，美國陸軍預期在 2021 財年末開始第二階段測試，在此階段除了原先的 4 輛 M113 改裝車外，也將加入各軍工大廠為美軍提供之各 4 輛中型與輕型 RCV；重型 RCV 則將在 2023 財年年中開始的第 3 階段加入測試，這個階段同樣將測試 4 輛 M113 RCV，以及廠商提供之中型與重型 RCV 各 4 輛，預期未來服役的 RCV 將會因為其無人操作，而能以較小的體型、較低的重量提供與現行裝甲車輛同等級的殺傷能力。⁷³

2019 年 10 月 21 日，美國陸軍正式選擇德事隆（Textron）與旗下機器人新創公司 Howe&Howe、HDT Global、豪士科（Oshkosh）、匡提科北美分公司與

⁷¹ U.S. Army Training and Doctrine Command and Army capabilities Integration Center, “The U.S. Army Robotic and Autonomous Systems Strategy,” U.S. Army, March 2017, https://www.tradoc.army.mil/Portals/14/Documents/RAS_Strategy.pdf.

⁷² U.S. Army Training and Doctrine Command and Army capabilities Integration Center, “The U.S. Army Robotic and Autonomous Systems Strategy,” p.8.

⁷³ Sean Kimmons and Army News Service, “Soldiers to operate armed robotic vehicles from upgraded Bradleys,” U.S. Army, July 11, 2019, https://www.army.mil/article/224241/soldiers_to_operate_armed_robotic_vehicles_from_upgraded_bradleys.

Pratt&Miller 等四個團隊獲選參與 RCV-L；⁷⁴2019 年 11 月 1 日則宣布通用動力陸上系統（General Dynamics Land Systems）、匡提科北美分公司與德事隆等 3 個團隊獲選得以進一步參與製造 RCV-M 的原型，其中後二者同時參與了 RCV-L 與 RCV-M 兩個計畫。⁷⁵

美俄兩大國以外，歐洲國家也積極參與 UGV 的研發，其中愛沙尼亞米爾倫（Milrem）公司研製的「履帶混合模組化步兵系統」（Tracked Hybrid Modular Infantry System, THeMIS）值得注意，THeMIS 為模組化設計，其中央模組可更換各種用途以負責運輸、後勤、情監偵、消防、掃雷、醫療後送甚至裝置各種武器接戰等各種任務，THeMIS 除可酬載 750 公斤物件外，尚可遙控操縱或自動跟隨駕駛。產品的優異性能使米爾倫很快便與眾多歐美大廠進行合作，並使 THeMIS 能整合各種遙控武器站，甚至反裝甲飛彈與小型無人機，極具任務潛力，並在 2019 年 10 月隨著愛沙尼亞部隊部屬至馬利（Mali）。⁷⁶愛沙尼亞也因此成為歐盟《永久性結構防衛合作協定》（Permanent Structured Cooperation, PESCO）中重要研究項目模組化無人地面系統（Modular Unmanned Ground Systems）的領導者，成為小國軍工發展的典範。

德國萊茵金屬公司則發展了「任務大師」（Mission Master）UGV，同樣高度模組化與自動跟隨駕駛能力，更在 2019 年 9 月波蘭「國際國防工業展」（Międzynarodowy Salon Przemysłu Obronnego）中，展出其整合波蘭製自殺無人機「Warmate」的版本，⁷⁷可預期未來各種武裝將逐漸整合到 UGV 上，使其正式成為主要武器載台。在 2019 年美國陸軍協會（Association of the United States Army）年會中，萊茵金屬更將「任務大師」的技術整合到德國陸軍自 80 年代以來大量運用的「鼬鼠」（Waffenträger Wiesel）輕裝甲車上，⁷⁸與俄羅斯先前以 BMD 空降裝甲車為基礎研發 UGV 相同，可知未來傳統舊式載台將可能藉由持續的改裝、甚至作為無人載具運用，持續在未來戰場活躍。此外，類似美國正在發展的「有人-無人組合」作戰概念，德國與法國剛開始啟動的下一代主戰車「主要地面作戰系統」（Main Ground Combat System, MGCS）計畫中，也將可能具備搭配 UGV 及 UAV 作戰的能力；如同美軍預期淘汰 M1 主戰車的時間點，MGCS 將在 2035

⁷⁴ Jen Judson, "The field narrows in US Army's light robotic combat vehicle competition," *Defense News*, October 21, 2019, <https://www.defensenews.com/digital-show-dailies/ausa/2019/10/21/the-field-narrows-in-light-robotic-combat-vehicle-competition/>.

⁷⁵ Jen Judson, "Three teams move on in medium-size robotic vehicle prototype competition," *Defense News*, November 1, 2019, <https://www.defensenews.com/land/2019/11/01/three-teams-move-on-in-medium-sized-robotic-vehicle-prototype-competition/>.

⁷⁶ Harry Lye, "THeMIS UGV makes operational debut on patrol in Mali," *Army-technology*, October 1, 2019, <https://www.army-technology.com/news/themis-ugv-operational-debut/>.

⁷⁷ Nicholas Fiorenza, "MSPO 2019: Rheinmetall presents Mission Master UGV with Warmate loitering munition," *Jane's 360*, September 4, 2019, <https://www.janes.com/article/90846/mspo-2019-rheinmetall-presents-mission-master-ugv-with-warmate-loitering-munition>.

⁷⁸ "AUSA 2019: Rheinmetall proposes next generation solutions to US Army highest priority modernization challenges," *Army Recognition*, October 14, 2019, https://www.armyrecognition.com/ausa_2019_news_show_daily_coverage_report_united_states/ausa_2019_rheinmetall_proposes_next_generation_solutions_to_us_army_highest_priority_modernization_challenges.html.

年左右開始逐步取代現有的「豹 2」（與美軍 M1 推出的時間點相仿）及「雷克勒」（Leclerc）主戰車。⁷⁹



圖 6-4、萊茵金屬「鼬鼠」無人輕裝甲車

資料來源：舒孝煌攝影。

說明：配備「任務大師」的「鼬鼠」無人輕型裝甲車，由萊茵金屬公司發展。

在美國與歐陸之外，澳洲目前也正在進行 UGV 測試，澳洲目前建立了一個稱為「信賴自主系統」(trusted autonomous systems) 的合作研究中心 (cooperative research centre) 計畫，其中主要成員之一的貝宜 (BAE Systems) 公司藉其掌握的無人載具技術，在澳洲同樣改裝了兩輛 M113 AS4 裝甲運兵車投入測試，為澳洲軍方探索未來無人戰場的可能性，⁸⁰可見無人地面載具的研究及概念已逐漸擴散。

不過，UGV 目前在戰場應用上仍有許多需克服的障礙。俄羅斯 UGV 在敘利亞戰場上的實際運用顯示，Uran-9 不僅主武裝 2A72 30mm 機砲運作及感測器的偵測距離出現問題，在都市的複雜環境下，其遙控操作距離也遠短於原先的設計，⁸¹顯示相關技術在近期內仍有待測試與驗證，值得進一步觀察。

(三) 無人水面/水下載具

無人水面載具 (Unmanned Surface Vehicles, USV) 及無人水下載具 (Unmanned underwater vehicle, UUV) 的發展由來已久，時至今日已有多個國家具有製造無人水下載具的能力，然以無人作戰艦而言，仍以美俄兩大強權為最主要的技術領航者。美國海軍目前正嘗試尋求一系列的全新平台或升級來加強其無人艦隊，在計畫中，美軍將生產超大型、大型、中型和小型等數種 UUV，並在 2019 年與波音公司簽訂價值高達 2.74 億美元的合約以建造 5 艘「虎鯨」(Orca) 式超大型 UUV (XLUUV) 原型。美軍也預計在 2020 財年開始徵求大型 UUV (LDUUV)

⁷⁹ “Main Ground Combat System – Common Indirect Fire System,” *Global Security*, February 21, 2019, <https://www.globalsecurity.org/military/world/europe/mgcs.htm>.

⁸⁰ “BAE Systems partners with Australian Army for autonomous vehicles,” *Army Technology*, September 5, 2019, <https://www.army-technology.com/news/bae-australia-autonomous-vehicles/>.

⁸¹ David Brown, “Russia's Uran-9 robot tank reportedly performed horribly in Syria,” *Business Insider*, July 10, 2018, <https://www.businessinsider.com/russias-uran-9-robot-tank-performed-horribly-in-syria-2018-7>.

「鱧魚」(Snakehead)的投標書，並正在準備中型 UUV 與大型、中型 USV 等不同的研發案，在美國海軍的規劃中，水面的「幽靈艦隊」(Ghost Fleet)計畫將以大型、中型 USV 作為其作戰核心。⁸²根據美軍公布的資料，「虎鯨」由波音公司的「回聲巡航者」(Echo Voyager)無人柴電潛艦發展而來，能自主航行並具備 6,500 浬航程而不依賴母船，「虎鯨」的模組化設計使她能用於反制水雷、反潛、反水面艦艇、電子戰以及打擊任務等，⁸³可攜帶 Mk.46 輕型魚雷或 Mk.48 重型魚雷，及飛彈等武裝，並可在海床上放置貨物或佈雷，同時「虎鯨」的價格也遠低於各種傳統作戰艦艇，極具作戰效益。⁸⁴

美軍同時也研發了多款較小型的 UUV，如「刀魚」(Knifefish)，此種 UUV 為標準 533mm (21 英寸)魚雷直徑，⁸⁵將搭配濱海作戰艦或其他海軍艦艇進行反水雷任務。這種 UUV 經過多年測試實驗，已於 2019 年 8 月 23 日得到美國海軍批准並將進入初始生產階段，美國海軍並宣布一個 4,400 萬美元的合約以採購 39 套「刀魚」系統，其中 24 套將用於 LCS 上。⁸⁶

在 UUV 以外，美國海軍也在 2019 年開始要求廠商提供護衛艦 (corvette) 大小的 USV 投標書草案，並要求撥款 4 億美元以建造兩艘研發用的 2,000 噸級的大型無人水面載具 (LUSV)。儘管 LUSV 及中型 MUSV 的運用概念仍在研發中，美軍預期將透過 USV 的部署提供艦隊更廣泛、龐大的感測器節點，及進一步加強火力投射能力。⁸⁷

美國目前的規劃顯示其對無人作戰艦艇的急迫需求，美軍預期在 2020 財年時開發與採購 LUSV、MUSV 及 XLUUV，並將透過無人作戰艦艇的導入，進行海軍艦隊結構的轉型。美國海軍將提高小型艦艇及無人艦艇的比例，並減少大型水面艦艇如驅逐艦與巡洋艦在整個艦隊中的比重，並透過這些轉型面對來自中國的挑戰。⁸⁸跟隨著美國的脚步，英國也開始投入 XLUUV 的發展。英國國防科技實驗室 (Defence Science and Technology Laboratory, DSTL) 在 2019 年啟動了 XLUUV 計畫，以協助皇家海軍評估其未來戰場用途。⁸⁹

⁸² Mandy Mayfield, "Navy Seeking New Technology for Unmanned Boats, Subs," *National Defense*, October 18, 2019, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2019/10/18/navy-seeking-new-technology-for-unmanned-boats-subs>.

⁸³ Ben Werner, "Navy Awards Boeing \$43 Million to Build Four Orca XLUUVs," *USNI News*, February 13, 2019, <https://news.usni.org/2019/02/13/41119>.

⁸⁴ Kyle Mizokami, "The Navy Just Ordered the 'Orca,' an Extra-Large Unmanned Submarine by Boeing," *Popular Mechanics*, February 14, 2019, <https://www.popularmechanics.com/military/navy-ships/a26344025/navy-extra-large-unmanned-submarines-boeing/>.

⁸⁵ "Submarines: Multiplying Mine Finding Robots," *Strategic Page*, October 16, 2019, <https://www.strategypage.com/htm/htsub/articles/20191016.aspx>.

⁸⁶ Kyle Kiyokami, "The U.S. Navy's Mine-Hunting Drone Is Ready to Go," *Popular Mechanics*, August 27, 2019, <https://www.popularmechanics.com/military/navy-ships/a28834032/knifefish-mine-drone/>.

⁸⁷ Sam LaGrone, "Navy Issues Draft Request for Proposal for Large Unmanned Surface Vehicle," *USNI News*, August 14, 2019, <https://news.usni.org/2019/08/14/navy-issues-draft-request-for-proposal-for-large-unmanned-surface-vehicle#more-68836>.

⁸⁸ Ronald O'Rourke, "Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress," *Congressional Research Service*, September 18, 2019, <https://fas.org/sgp/crs/weapons/R45757.pdf>.

⁸⁹ Jon Rosamond, "U.K. Developing its Own Extra Large UUV for Royal Navy," *USNI News*, April

另一個在無人作戰艦艇上具備優秀技術，並扮演重要角色的則是俄羅斯。首先值得注意的是「波賽頓」，這種 UUV 最早出現於 2015 年，過往也被稱為「Status-6」及「卡尼翁」(Kanyon)，俄羅斯總統普欽在 2019 年 2 月初宣稱已成功研發此型 UUV，並宣稱將於 2019 年夏季開始工廠測試。「波賽頓」可視為一種核子動力的核子魚雷，能跨洲際投射兩百萬噸級的核彈頭。⁹⁰其次則是「大鍵琴-2」(Klavesin-2)，這種 UUV 外觀近似潛艇，重約 4 噸並可潛至 6,000 公尺深，「大鍵琴-2」可以攜帶各式感測器、搜索並收集如武器碎片等各種物體，並由特殊改裝的潛艦作為母船進行運用，施放後可操作距離達 50 公里。「大鍵琴-2」在 2018 年時已在克里米亞一帶進行海試，由於海試時已獲得俄軍的正式編號「2R52」，顯示「大鍵琴-2」將可能在海試後進入服役。⁹¹

此外，中國在 2019 年 10 月 1 日的閱兵中，同樣展出了一種稱為「HSU001」的新式 UUV。相較於美國與俄國的類似系統，HSU001 相對較小，其尺寸與外觀顯示可能不會用於載運大型武器裝備或水雷進行作戰行動，而仍以情監偵等工作為主。⁹²儘管中國目前正在進行多種無人船艦，並且可能包含將在下個十年進入服役的超大型 UUV，以及水下基地，⁹³但目前推出的系統顯示其可靠性可能仍存在問題，技術上仍需追趕美國與俄羅斯的發展。⁹⁴

陸、未來武器與高科技載台發展趨勢

目前下一代武器載台的發展仍在概念研發階段，目前正處於世代交替階段，本節先前提過的武器系統，包括雷射、電磁武器、無人機、極音速武器等，未來將成為未來載台的標準或選擇配備，以強化其原有性能或作戰能力，但未來作戰環境也可能賦予新武器載台與現在不同的任務。

一、歐洲六代戰機的跨國整合

歐洲國家正在進行六代戰機概念的驗證及整合。英國貝宜航太首先在 2018 年推出「暴風」(Tempest) 戰機全尺寸模型，希望在 2035 年達到初始戰力 (initial

17, 2019, <https://news.usni.org/2019/04/17/u-k-developing-its-own-xluuv-for-royal-navy>.

⁹⁰ Matteo Natalucci, "Russia completes testing of 'Poseidon' thermonuclear torpedo," *Jane's 360*, February 20, 2019, <https://www.janes.com/article/86583/russia-completes-testing-of-poseidon-thermonuclear-torpedo>.

⁹¹ "Russia Started Sea Trials of Klavesin-2 UUV in Crimea," *Naval Technology*, May 18, 2018, <https://www.navyrecognition.com/index.php/focus-analysis/naval-technology/6234-russia-started-sea-trials-of-klavesin-2-uuv-in-crimea.html>.

⁹² Ellen Ioanes, "China just unveiled an underwater drone that could one day even the odds against the US and its top allies," *Business Insider*, October 2, 2019, <https://www.businessinsider.com/chinas-underwater-drone-allies-in-pacific-2019-10/>

⁹³ JR Wilson, "Unmanned submarines seen as key to dominating the world's oceans," *Military & Aerospace Electronics*, October 15, 2019, <https://www.militaryaerospace.com/unmanned/article/14068665/unmanned-underwater-vehicles-uuv-artificial-intelligence>.

⁹⁴ 歐錫富，〈中國發展水下無人潛航器〉，《國防安全週報》第 73 期，2019 年 11 月 15 日，頁 1-6。

operating capability, IOC)，2040年取代歐洲戰鬥機（Eurofighter），並供應歐洲及國際外銷市場。暴風戰機是一種大型單座雙發動機戰機，採用兩具傾斜式大型垂直尾翼，類似F-22，可增加其可操縱性，顯示其追求匿蹤能力更佳，更大的機體也暗示其較佳的航程，以及武器酬載能力。勞斯萊斯的自適應循環渦輪扇發動機的風扇段，將由輕質複合材料製造，具優異的熱管理能力及數位化控制，同時也可透過傳動軸產生大量電力，未來將可驅動雷射武器。

暴風戰機較像是歐洲版的五代半戰機。其先進之處並非外型，而是整體航電及武器設計，以及運用先進生產及後勤技術。「暴風」戰機將運用模組化彈艙，自動化地面支持系統、數位化生產程序及自動化機器人，機體上的各種先進主動式感測器，可以模組化進行重新設計及安排，以及新一代飛控系統與平衡的高生存性設計、分散式多重光譜感測器下一代反制措施。未來暴風戰機可能會採用極音速武器，並與無人機搭配作戰，這是目前下一代戰機的設計趨勢。座艙最大亮點則是以擴增實境概念取代傳統座艙，飛行員可以看到他自己或他人的座艙，同時可以隨意重新配置，並輕易將資料鏈傳給其他飛機。⁹⁵

「暴風」戰機設計的挑戰，是面對未知的需求時，需有極佳適應性能力。因此在早期設計過程最重要的是先發展任務系統架構，而不是精確的作戰需求，包括概念設計、需要何種技術及如何取得，其關鍵可能是如何提出一種適應性強，能滿足客戶不同需求的戰機。⁹⁶

目前已有數家歐洲集團加入「暴風」戰機團隊，包括義大利李奧納多集團（Leonardo）在2019年9月14-17日的「國際防務與安全裝備展」（Defence & Security Equipment International, DSEI 2019）中宣布加入「暴風」戰機研發陣營，瑞典紳寶（SAAB）集團、歐陸的空中巴士（Airbus）集團、美國洛克希德馬丁也都加入團隊。紳寶將提供發展「獅鷲」E（Gripen E）的經驗，不過瑞典出口法規嚴格，將是一項挑戰。⁹⁷

⁹⁵ Sebastien Roblin, "Why Britain's Tempest Stealth Fighter May Out-Class the F-35," *National Interest*, October 31, 2019, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/why-britains-tempest-stealth-fighter-may-out-class-f-35-92101>.

⁹⁶ Stew Magnuson, "NEWS FROM DSEI: RAF Puts Development of Tempest Next-Gen Fighter into 'Hyperdrive,'" *National Defense Magazine*, September 12, 2019, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2019/9/12/raf-puts-development-of-tempest-next-gen-fighter-into-hyperdrive>.

⁹⁷ Andrew Chuter, "Sweden to join British 'Tempest' next-gen fighter push," *Defense News*, July 7, 2019, <https://www.defensenews.com/global/europe/2019/07/07/sweden-to-join-british-tempest-next-gen-fighter-push>.



圖 6-5、英國貝宜航太的「暴風」戰機概念

資料來源：舒孝煌攝影。

法國也與德國及西班牙結盟，在 2019 年 6 月 17 日巴黎航展期間推出六代戰機全尺寸概念，這被稱為「未來空中戰鬥系統」(Future Combat Air System, FCAS)，主合約商是法國達梭航空工業公司 (Dassault)，空中巴士 (Airbus) 軍用機部門負責發航電系統。FCAS 外型扁平、匿蹤性更佳外，沒有公布太多發動機、航電、結構設計等細節，似是因為對至 2040 年的空中威脅尚無具體看法。

二、美國的六代戰機計畫

美國海空軍在過去數年曾提出未來戰機計畫，美國空軍稱為「下一代空防系統」(Next Generation Air Dominance, NGAD)，美國海軍稱為 F/A-XX，不過因兩軍種要求不同，對未來空戰或空中威脅看法尚未整合，但已展開相關技術發展，例如空載雷射武器、空射極超音速飛彈、新一代發動機等。美國空軍《空優 2030 飛行計畫》(Air Superiority 2030 Flight Plan)，指出未來需要一種「穿透性制空」(Penetrating Counter-Air, PCA) 平台，可深入敵境進行致命或非致命打擊，機體需具備多頻譜匿蹤能力，但海軍 F/A-XX 計畫則希望能讓航艦部署在離岸 1,000 至 1,200 哩距離，以遠離敵人飛彈攻擊。六代戰機也應具備系統化或系統家族概念，以便快速升級，因應未來數十年間空中威脅的可能變化。⁹⁸

美國空軍最近對其機隊更新計畫有急迫感。其大部分戰機仍是 1980 年代設計的，其結構損耗至 2020 年將達極限，美國空軍原本規劃的五代戰機中，F-22 僅採購 187 架，F-35 生產仍然遲緩，迫使空軍不得不為 4 代戰機延壽，甚至增購 F-15EX 以為補充。

為快速提升機隊，美國空軍可能大幅改變下一代戰機採購戰略，將要求航空工業在 5 年內設計、發展及生產新戰機，可能延用過去「世紀系列」(Century Series) 經驗，不是研發最先進、最昂貴的戰機，而是整合現有科技、採購較少

⁹⁸ Jon Harper, "What to Expect from Sixth-Gen Aircraft," *National Defense*, September 16, 2019, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2019/9/16/what-to-expect-from-sixth-gen-aircraft>.

數量，數年後根據新科技再發展下一種戰機，並結合先進的 3D 設計、開放架構、數位工程等技術。⁹⁹

未來六代戰機不會取代五代戰機，而是併肩作戰，採用目前發展中的先進技術，如雷射、無人僚機、人工智慧技術、網路化作戰、智慧化蒙皮、新一代匿蹤技術，如飛機熱能管理，透過感測飛機在飛行中的熱量分佈，重新加熱或冷卻機體表面，使飛機完全融入周邊的大氣環境。另外可能包括極音速飛行等，並引進系統化作戰概念。¹⁰⁰然而，這些科技都還在發展階段，要能整合在所謂的「第六代」戰機上，目前可能為時尚早。

三、未來水面艦設計趨勢

美國海軍正思考未來水面艦（Future Surface Combatant）發展，除了未來大型水面艦（Large Surface Combatant, LSC）、2021 年開始建造的新巡防艦（FFG(X)）外，尚包括中型及大型無人水面艦，設計理念都著重適應性，將取代現有作戰平台。未來艦艇設計趨勢包括：

（一）匿蹤化

為減少被敵方雷達偵蒐機會，水面艦艇採用匿蹤外型是必然趨勢，然而受限於艦上裝備複雜，以及在設計時需與艦艇水線以上結構達成妥協，包括武器、艦橋、排煙及進氣設備、感測系統、直升庫等結構，難以達成全面且完美的匿蹤要求。不過新一代的匿蹤設計已逐漸成熟，美國的濱海作戰艦與朱瓦特級（Zumwalt）驅逐艦、我國的沱江級巡邏艦、挪威的巡防艦，都採用較革命性的匿蹤外型設計，將使海軍艦艇更進一步減少其被敵雷達發現的可能。

（二）多功能化與彈性化

武器系統彈性化是近年趨勢，使艦上武器可以應付突發狀況及不同作戰環境挑戰，例如標準 3 型飛彈可以攻擊水面目標，戰斧飛彈可用以攻擊水面移動目標，魚叉飛彈則可攻擊陸地目標，而近迫武器則可用以攻擊水面目標或 UAV 等新興的不對稱威脅。艦上感測系統如雷達、光電系統等，則需能發現小型的威脅。另外，艦上可用以部署 UAV 或 USV 等，以增加艦艇的作戰彈性，有時直升機庫甚至可部署攻擊直升機（如 AH-1Z），執行遠距打擊任務。

（三）電力化驅動與高能量武器

因應船艦感測系統逐漸改用電子掃描雷達，電力消耗漸漸增加，船艦主機在電力輸出上較過去大幅增加。在電磁軌道砲及固態雷射武器等先進武器逐漸實用化後，船艦的武器系統未來可能有革命性轉變，這些武器會消耗大量電能，因此主機的電力輸出要較過去增加 2 至 3 倍以上。另外驅動方式也由主機經變速箱與大軸直接驅動俾葉，轉變為發電後由電力驅動馬達，馬達再直接傳動俾葉，中間

⁹⁹ Valerie Insinna, "The US Air Force's radical plan for a future fighter could field a jet in 5 years," *Defense News*, September 9, 2019, <https://www.defensenews.com/digital-show-dailies/2019/09/16/the-us-air-forces-radical-plan-for-a-future-fighter-could-field-a-jet-in-5-years>.

¹⁰⁰ Kris Osborn, "U.S. Air Force is Prototyping a Replacement for the Stealth F-35," *National Interest*, September 23, 2019, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/us-air-force-prototyping-replacement-stealth-f-35-82661>.

可減少機械的噪音與動力的消耗，目前新式艦艇已逐漸採用電力馬達驅動，使艦艇動力產生大幅度轉變。

電力驅動與艦上武器系統的革新息息相關。美國海軍電力船舶辦公室（Electric Ships Office, ESO）負責發展海軍的動力及能源系統，主要聚焦在船艦的動力系統與導能武器，或艦上其他需要高能量的任務系統及平台整合，並改善這些組件及次系統的能源效率。由於先進雷達、偵測系統及電磁與導能武器的需要，現代船艦艦上需要的電力及脈衝功率不斷增加，同時仍得維持其他用電系統的穩定，這是設計新一代船艦的挑戰。電力船舶辦公室與海軍研發部門及其他工業界夥伴合作，導入創新科技，引進高效能的動力及能源管理，實現海軍分散式殺傷（distributed lethality）的作戰理念。

另外，為應付殺傷及非殺傷的不對稱威脅，需要新科技解決方案。目前海軍有數種高能量武器及感測器技術，將在未來數年導入服役，其中包括固態雷射，用以取代現有的近迫武器系統（Close-In Weapon System, CIWS）、電磁軌道砲，可發射長程精確武器，增加打擊射程，減少打擊時間、先進感測器，將所有材料、結構、製造技術與感測器、匿蹤等完全加以整合。這些新技術的運用都需要船艦輸出更大的動力，為以可能的最低成本符合作戰需要，由傳統的任務系統及艦艇系統分離，到整合式的電力及能源架構，這種基本的典範轉移有其必要。¹⁰¹

ESO 將採用成熟及適當的架構、系統和組件，滿足現有與未來船艦的新興任務的負荷要求，這包括電源轉換模組、發電模組、儲能模組、以及電力控制模組，未來新式的船艦將會運用整合式動力系統，稱為整合動力及能源系統（Integrated Power & Energy System, IPES），其中包括能源庫（Energy Magazine），為模組化、可擴展的動力及能源系統，支援多種系統使用，首套原型已在 2018 年進行測試。IPES 則結合多種多用途分散式能源存儲、先進的能源控制及管理，提供可擴展架構，以支援不同級別船艦的運用。這套系統結合朱瓦特級驅逐艦、馬金島號兩棲突擊艦（USS Makin Island, LHD 8）、英國 45 型驅逐艦等的經驗，IPES 可簡化讓能源穩定共享及管理，可併聯不同額定功率的發電機，毋須保持發電機同步。

（四）網路化與分散式部署

美國海軍發展網路化作戰（Network-Centric Warfare, NCW）多年，如今相關構想更進一步，採「分散式致命」，即艦艇間以網路化連結，網路化部署，艦艇與艦艇間以資料鏈交換訊息，彼此部署距離可能遠達數十哩或近百哩，以 E-2 預警機、直升機、UAV 或衛星交換訊息，減少被敵人攻擊機會，並可增加敵方部署的風險。

¹⁰¹ “Electric Ships Office,” Naval Sea Systems Command, December 2016, <https://www.navsea.navy.mil/Home/Team-Ships/PEO-Ships/Electric-Ships-Office/>.

柒、小結

藉由前面幾節可以逐漸勾勒出一個未來的戰場圖像。有人與無人的系統搭配作戰將是未來可預見的戰場景象，陸海空的無人僚機將可大幅延伸現有作戰平台的交戰距離、戰場覺知、生存能力以及火力投射能力，而極音速載具與長程打擊武器的大幅增加，則對現有飛彈防禦體系帶來極大衝擊，將使得新世代飛彈防禦系統需求大增。事實上，前一章節所提到的彈藥技術進步，將使得未來載台火力投射的能力更加強化；在這種情況下，包含雷射在內的各種防禦武器，將是未來大型主戰水面艦在對抗逐漸強化的「矛」時，必須採取的手段。

伴隨著大國衝突需求而呈現多領域化的未來戰場，可預見將使兵科、甚至兵種間的藩籬逐漸打破，同時通訊與觀測技術的發展，讓部隊上從指揮官、下到單兵，在未來都可獲得一個完整、共通的戰場圖像，這將使得不同兵種及兵科的整合、甚至將聯兵單位分散以小單位作戰逐漸成為可能。這樣的作戰方式如搭配上複雜地形的運用，對無法與中共進行軍備競賽的台灣來說，無疑是防衛作戰上的重大利基。

然而技術上的限制仍有待解決，就無人自主系統而言，人工智慧以及自主操作系統的發展仍有其限制，特別是在需要面對複雜地面環境的 UGV 而言更是如此，UUV 則將面對通訊及傳輸的問題，特別是水下通訊系統目前仍彼此不相容，換言之不同生產商的產品將可能無法互相通訊，此外，無人系統儘管能省去人命損失的顧慮，然而要真正達到代替人類進行「骯髒、枯燥與危險」環境的工作甚至作戰任務時，仍需要有足夠的數量及可耗損性，換言之其造價也仍需下降，以符合作戰需求。導能武器的功率也仍有待加強，目前的系統雖能破壞感測器或是擊毀無人機，然而面對飛彈等目標時卻仍力有未逮，有待技術上的進一步突破，而矛與盾的競爭也將決定在未來數十年內，傳統的超級航艦一類的大型載台是否能在未來戰場生存的關鍵。

（責任校對：杜貞儀、王綉雯、郭恒孝）