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

中華民國 111 年 3 月 24 日　　第 16 期

國防情勢特刊

無人載具的未來戰場關鍵角色

美國未來無人機發展與運用概念	舒孝煌	1
美國海軍發展無人水面載具的現況與挑戰	翟文中	17
無人機與戰場通訊中繼	曾怡碩	27
我國無人機軍事運用現況與未來發展	陳柏宏	37
無人航空載具在台灣國土防衛作戰運用之探討	許智翔	47
無人機反制概念與系統之發展	舒孝煌 許智翔	59

⊙ MARCH 24, 2022 ⊙

Defense Situation Special Edition Vol 16

The Key Role of Unmanned Aerial Vehicles on the Future Battlefield

The Future Drone Development and Use Concepts of the US Military	*Hsiao-huang Shu*	1
The Current Status and Future Challenges of US Navy Unmanned Surface Vehicle Development	*Wen-Chung Chai*	17
Drone Communication Relay on the Battlefield	*Yi-Suo Tzeng*	27
Taiwan's Drone Military Use Current Situation and Future Development	*Po-Hung Chen*	37
Discussion of the Use of Unmanned Aerial Vehicles in Taiwan's Homeland Defense Operations	*Jyh-Shyang Sheu*	47
Anti-drone Concepts and System Development	*Hsiao-huang Shu* *Jyh-shyang Sheu*	59

⊙ MARCH 24, 2022 ⊙

編輯報告

無人航空載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）為近年各國軍方及安全單位高度重視的新型科技，而在媒體報導中，也因反恐戰爭時美軍的運用以及各地武裝衝突中的高曝光度，逐漸受到大眾注意；UAV發展時間已久，而現代戰爭中 UAV 的活躍，是本世紀初以來相關科技蓬勃發展的直接產物。目前，各國除了放眼未來的 UAV 前瞻發展以外、更進一步強化無人地面載具（Unmanned Ground Vehicle, UGV）、無人水面載具（Unmanned Surface Vehicle, USV）及無人水下載具（Unmanned Underwater Vehicle, UUV）等各種作戰領域無人載具的發展。

就西方國家與中俄等大國發展趨勢而言，以無人載具輔助人類士兵在各領域作戰、強化能力及火力投射，甚至逐漸改良、強化自主能力，已成為重要發展方向。儘管是否允許無人載具擁有自主開火攻擊人類權限的議題，仍充滿爭議。回顧台灣在無人載具相關能力的發展，則相對於世界各國起步較晚，雖仍未具備相當數量的 UAV 機隊，也已進行了包含中科院研發之系統、向美國採購的先進 MQ-9B 等 UAV 在內等多項努力。考量未來的安全環境與作戰趨勢發展，無人載具實是台灣應進一步投注資源發展、並逐漸為國軍強化相關能力。

本院同仁長期關注無人載具發展趨勢，相關研究與分析散見於各報告中。正因如此，本期特刊嘗試集中部分研究能量，以無人載具作為主題，綜整幾位作者認為的重要發展方向，分別探討《美軍未來無人機發展運用與概念》、《美國海軍發展無人水面載具的現況與挑戰》、《無人機與戰場通訊中繼》、《我國無人機軍事運用現況與未來發展》、《無人航空載具在臺灣國土防衛作戰運用之探討》，以及《無人機反制概念與系統之發展》等重要議題。

由於無人載具的發展已是不可避免的趨勢，更是當前各地武裝衝突、以及未來戰場的必然要角，有限的特刊篇幅實難以包含所有議題，儘管其他領域如 UGV、UUV 等，在未來戰場上將同樣扮演關鍵角色，然而就臺灣在相關領域的發展而言，相信當前最重要的，仍是在現有技術與能力的基礎上，盡快建立初步的能量，因此選擇在這六個議題上進行探討。希望未來能在本特刊專文的基礎上進一步分析議題，及探討本特刊未能涵蓋之重要議題，也希望本特刊的推出能對政策單位的相關討論、及民眾對相關議題的理解提供參考。

美軍未來無人機發展與運用概念

舒孝煌

中共政軍與作戰概念研究所

壹、前言

美軍近年在中東及其他區域的作戰任務中，無人機都擔負重要角色。近年美國各軍種也投入發展無人機的先進技術，及新一代無人機，以在未來高威脅性戰場中發揮更大作用。美軍各軍種依其作戰特性及急迫需要、對未來戰場及威脅的定義，提出未來無人機發展計畫，結合網路、人工智慧等先進技術，被視為未來戰爭的主要武器，其中最重要的是人機協同、自主操作等，並成為忠誠隊友，此雖然對研發或部隊運用都造成挑戰，但也將提高部隊戰力，並改變未來作戰模式及戰場型態。

貳、美國陸軍無人機發展戰略

美國陸軍曾持續推出《美國陸軍無人機路徑圖》（US Army Roadmap for UAS），詳述無人機在各種型態作戰的發展、編組及運用，提供各軍種建立無人機需求時的參考，美國陸軍也在發展新一代無人機，因應未來陸軍多領域作戰的需求。

一、無人機發展路徑及分類

美國國防部接續出版無人機路徑圖後，最新版為《無人系統整合路徑圖 2017-2042》（Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042），指出未來無人機四項關鍵領域，包括：

（一）相互操作性：有人及無人系統的協同操作將日益增加。

（二）自主操作：增進人員及無人系統協同效率，提供戰略優勢。

（三）網路安全：無人系統依賴網路及無線電連接，須防止干擾或被操控。

（四）人機協同：未來人—機間需實現革命性合作，機器將成為忠誠隊友。[1]

各軍種依其任務特性，對無人機運用均有所不同，不同層級單位的運用，決定無人機的大小以及其任務能力，區分方式包括重量、飛行高度或使用空域、操作模式等。

美國陸軍無人機的主要任務包括偵察、情報蒐集、目標蒐獲、損壞評估、蒐索救援、空中管制、中繼通訊等任務，可以擔任戰場管理與經營、反游擊作戰、城鎮作戰及反恐任務等。[2]其對無人機的部隊運用分類如下：

（一）營級或以下單位，使用短程無人機，航程少於 25 公里，續航力則少於 2 小時，其作戰高度低於協同高度以下，主要任務是整合地面部隊，作為支援戰術任務的有機資產。

（二）旅級單位，使用短航程（少於 125 公里）、中航程（約 10 小時），用於整合地面部隊及其他航空單位。

（三）師或更高階單位，使用航程超過 200 公里以上，續航能力達到 16 小時以上，其任務主要是在戰術或作戰層級，提供對於部隊的直接支援或通用性支援。[3]

---

[1] US DoD, *Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042*, August 1, 2018, https://www.hsdl.org/?abstract&did=826737.

[2] Lt General (Retd) Naresh Chand, "Unmanned Aerial Vehicles for the Army," *SP's LandForces*, 2014, http://www.spslandforces.com/story/?id=292&h=Unmanned-Aerial-Vehicles-for-the-Army.

[3] US Army, *U.S. Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2010-2035*, April 2010, pp. 1-2, https://irp.fas.org/program/collect/uas-army.pdf.

UAS Groups	Maximum Weight (lbs) (MGTOW)	Normal Operating Altitude (ft)	Speed (kts)	Representative UAS	
Group 1	0 – 20	<1200 AGL	100	Raven (RQ-11), WASP	
Group 2	21 – 55	<3500 AGL	< 250	ScanEagle	
Group 3	< 1320	< FL 180		Shadow (RQ-7B), Tier II / STUAS	
Group 4	>1320		Any Airspeed	Fire Scout (MQ-8B, RQ-8B), Predator (MQ-1A/B), Sky Warrior ERMP (MQ-1C)	
Group 5		> FL 180		Reaper (MQ-9A), Global Hawk (RQ-4), BAMS (RQ-4N)	

圖 1、美國國防部 UAV 分類表

資料來源：Unmanned Aircraft System Airspace Integration Plan. March 2011. https://web.archive.org/web/20160121155841/http://www.acq.osd.mil/sts/docs/DoD_UAS_Airspace_Integ_Plan_v2_(signed).pdf.

二、美國陸軍未來無人機系統

美國陸軍正進行 6 項現代化計畫，其中一項是「未來無人機系統」（Future Tactical Unmanned Aerial System, FTUAS），將以一種可以垂直起降、升空後轉換為水平飛行，不需依賴跑道或輔助起降設施、可簡化後勤支援的無人機，取代現用的 RQ-7「陰影」（Shadow）戰術無人機，更適合執行陸軍哨戒及偵察任務，在未來大國衝突的嚴苛挑戰中生存。

美國陸軍在 2018 年時開始尋找新的旅級無人機系統，用以取代 RQ-7，希望能簡化無人機系統，並能以一架 CH-47 運輸一個排的 FTUAS，改善機動部署能力。[4]2019 年 7 月，美國陸軍選定 4 家公司產品，2020 年交由 5 個旅級單位進行實戰測試，包括馬丁無人機（Martin UAV）與諾斯洛普格魯曼合作發展的 V-Bat「甩尾手」

[4] Matthew Cox , "Army Drone Rodeo Will Feature Textron's Vertical Takeoff UAS," *Military.com*, Mar 01, 2021, https://www.military.com/daily-news/2021/03/01/army-drone-rodeo-will-feature-textrons-vertical-takeoff-uas.html.

（tailsitter）、德事隆—AAI 團隊的「空中探測 HQ」（Aerosonde HQ）、L3Harris 無人系統部門的 FVR90，以及空中環境公司（AeroVironment）旗下大角星無人機（Arcturus UAV）的「跳躍」20（Jump 20）無人機。[5]其中德事隆、L3Harris、大角星都採用 4 軸螺旋槳進行垂直起降，但具有固定式機翼及推進式螺旋槳，以利長距離平飛；馬丁的 V-Bat 則採用特殊的垂直起飛方式，螺旋槳位於機尾，垂直起降時機首朝天，升空之後再改成平飛。這 4 種無人機設計任務與 RQ-7 類似，包括情報、監視、偵察，可應付從沙漠至極圈的不同極端操作環境，可全天候操作，掛載客戶指定的酬載，同時也可以在陸地或海上操作。

圖 2、空中探測 HQ

圖片來源：Textron. https://www.army-technology.com/projects/aerosonde-hq-small-unmanned-aircraft-system/.

[5] Jen Judson, "US Army's Unmanned Aircraft Rodeo Firms up Requirements for Shadow Replacement," *Defense News*, March 3, https://www.defensenews.com/land/2021/03/03/us-armys-unmanned-aircraft-rodeo-firms-up-requirements-for-shadow-replacement/.

圖 3、採導管扇螺旋槳設計的 V-Bat

圖片來源：Martin UAV. https://www.defensenews.com/unmanned/2018/04/20/v-bat-drone-to-challenge-us-army-allies-in-germany-based-exercise/.

為了驗證新無人機的操作情況，美國陸軍責成 5 個旅級單位，由真實士兵模擬作戰情況及部隊編組，依不同功能及特性測試 4 種參與競爭的新型無人機：

（一）第 1 裝甲旅級戰鬥隊，為重裝甲履帶車。

（二）101 空降師第 2 旅級戰鬥隊、為直升機降輕步兵旅。

（三）第 2 步兵師第 1 史崔克旅級戰鬥隊，為史崔克輪甲車單位。

（四）第 1 裝甲師第 3 裝甲旅級戰鬥隊，為重裝甲單位。

（五）82 空降師第 1 旅級戰鬥隊，為輕裝空降兵。

美國陸軍已在班寧堡（Fort Benning）進行測試，使用單位的回饋意見包括：

（一）垂直起降使操作更靈活，也省去設置跑道或起降設施需要的人力及設備；

（二）節省人力，只要 2 至 3 名士兵便可使無人機起飛執行任務；

（三）都能以自動化軟體進行垂直起飛並轉換為水平飛行，無

需人工操作；

（四）都具備足夠的自主性，可在悍馬車或是中型戰術載具（FMTV）卡車上操作；

（五）都足夠緊緻，可以與支持人員及裝備一起運輸，並使用 CH-47 或更小的 UH-60 黑鷹直升機運輸；

（六）都具惡劣天候操作能力；

（七）更易於操作與維護；

（八）更為安靜，有利隱藏行蹤。[6]

FTUAS 還要與陸軍未來垂直升降飛機（Future Vertical Lift aircraft）計畫連結，建立陸軍的「低高度空軍」，具匿蹤能力，可在雷達偵測範圍下飛行，依賴地形地物進行躲藏，並對未來的全領域作戰作出貢獻。[7]FTUAS 預計 2024 會計年度開始生產。[8]

三、強化有人—無人團隊操作

美國陸軍在 2014 年開始嘗試擴大「有人—無人團隊」（Manned-Unmanned Teaming, MUM-T），要使無人機能夠傳輸視訊影像、控制武器、改善情況覺察能力，並具備更佳地面支援能力，減少地面部隊對空中或友軍支援的依賴。AH-64E 攻擊直升機是第一種具備多任務 MUM-T 能力的直升機，機員可以直接操作無人機，例如 MQ-1C 灰鷹（Grey Eagle），以無人機感測器及武器延長 AH-64 的作戰範圍，一架 AH-64 可在 110 公里外控制灰鷹的武器及感測器。

目前 AH-64 仍是最先進的 MUM-T 平台，它不僅可以接收無人機的影像，也可以控制無人機的感測器及導航系統，支持蒐集戰術

[6] Sydney J. Freedberg JR., "FTUAS: Army Blown Away By New Drones (In Rain)," *Breaking Defense*, March 02, 2021, https://breakingdefense.com/2021/03/ftuas-army-blown-away-by-new-drones-in-rain/.

[7] Jen Judson , "US Army Endorses Tactical Drone Contest to Replace Shadow," *Defense News*, August 17, https://www.defensenews.com/land/2021/08/16/us-army-endorses-tactical-drone-contest-to-replace-shadow/.

[8] Ethan Sterenfeld, "Army Approves FTUAS Requirements," *Inside Defense*, August 17, 2021, https://insidedefense.com/insider/army-approves-ftuas-requirements.

訊息的需求，並提高戰術感知態勢，協助瞭解地面作戰情況，目標影像、地形地貌，並遠離危險地區，也可被當成武器投遞的平台，發射武器、與有人機進行火力協調、以無人機作為誘餌、以利主攻部隊迂迴前進，也可作為電子攻擊平台。除了作戰以外，MUM-T 也可協助尋找及投放補給品。

美國陸軍航空中心（United States Army Aviation Centre, USAACE）將 MUM-T 定義為「士兵、有人駕駛及無人駕駛的空中與地面載具、機器人、感測器的同步運用，以強化情況覺察、更佳致命性、改善生存性」。[9]MUM-T 是一種標準化的系統架構及通訊協議，可在整個部隊架構中共享從無人機感測器獲得的圖像，透過即時數據資料鏈，讓有人載具及無人系統間可獲致不同級別的互相操作性，這可以提高決策與任務效率。未來不僅美國陸軍，其他國家也會更新其直升機隊，並確定新一代直升機的需求，其中 MUM-T 會是其中一項要求，MUM-T 不但可能改變未來飛機的開發方式，也可能改變未來作戰型態，但也可能增加飛行員工作量，也會影響人機界面新概念的發展。[10]

肆、先進無人機技術

美國海、空軍也在發展先進無人機概念。目前的「無人機」仍是有人操作，未來的無人機運用概念，要求能自主操作，不需人員加以遙控及監控，減少操作負擔，除了發展有人—無人團隊技術、協調自主操作技術外，也要讓部隊士兵瞭解，如何真正將無人機納入作戰團隊，真正對戰力產生加乘效果。

[9] Lieutenant Colonel Livio Rossetti, "Manned-Unmanned Teaming: A Great Opportunity or Mission Overload?," *Journal of the JAPCC*, Ed 29, Winter 2019/2020, p.42, https://www.japcc.org/wp-content/uploads/JAPCC_J29_screen.pdf.

[10] Lieutenant Colonel Livio Rossetti, "Manned-Unmanned Teaming: A Great Opportunity or Mission Overload?," p.42.

一、群集式無人機協同自動化操作

由美國國防先進研究計畫署（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）所投資的無人機研究計畫，可在嚴重電子戰環境下操作。這項計畫名稱為「在拒止環境中協同作戰」（Collaborative Operations in Denied Environment, CODE），曾在 2018 年 11 月下旬於亞歷桑那州躍馬（Yuma）試驗場進行無人機協同的實戰測試，[11]顯示在嚴重電子攻擊及通訊與衛星定位訊號受干擾的情況下，現場以及虛擬的無人機也能以高度自動化方式協同運作。

CODE 計畫已轉移給海軍，DARPA 的 X-61A「鬼怪」（Gremlin）無人機計畫，則運用 CODE 的技術，用於發展更好的空射、可回收載具，使其操作更可靠、更安全，並具備多種用途，可執行多次任務，而不是像飛彈或炸彈那樣只有使用一次的壽命，但也只需要操作 10 至 20 次，以降低成本。2020 年 10 月，DARPA 曾以 3 架 X-61A 進行機載操作測試，驗證自主編隊飛行位置及安全功能，每架僅相距數吋。[12]

無人機自動化飛行的困難之處是要彼此協調，避免互撞。未來小型無人機的群集技術會逐漸成熟，彼此要像鳥群飛行一般自行定位並保持彼此位置。目前美國各軍種都有小型無人機群集發展計畫，除了一般的無人機群集飛行外，許多公司已提出特別的解決方案，如雷神（Raytheon）公司發展的郊狼（Coyote）無人機系統，[13]雷神正為美國國防部開發一種新工具，稱為「低成本無人機群集技術」（Low Cost UAV Swarm Technology, LOCUST），可用以自動控制

[11] Staff Writers, "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.

[12] "DARPA Gremlins Project Completes Third Flight Test Deployment," *DARPA*, December 10, 2020, https://www.darpa.mil/news-events/2020-12-10.

[13] "Mind of the Swarm: Amazing New Technology Allows Drones to Flock Together as They Fly," *Raytheon,* March 28, 2019, Updated, https://www.raytheon.com/news/feature/mind-swarm.

空中的無人機集群，透過語音和手勢，就從電腦或其他裝置上引導及控制不同構型的無人機。無人機之間資訊可以互通，使集群具備自主及協同能力，操作人員還可控制及校正其群集飛行的迴路，下一代的郊狼系統甚至可以在特定區域巡航飛行。

二、美國空軍忠誠僚機計畫

美國空軍認為現有無人機將很快跟不上時代，傳統情監偵戰法已經漸漸失去效用，因此開始測試全自動化的無人機控制系統，包括忠誠僚機（Loyal wingman）、天空堡壘（Skyborg）等，並計畫運用更多的 AI、雲端運算、小型無人機的自主集群操作、極超音速及微衛星等技術。[14]

目前 AI 在無人系統的運用，主要聚焦在真實環境下的全自動操作。美國空軍第 412 測試聯隊曾進行「複雜環境下自動化操作」（Testing of Autonomy in Complex Environments, TACE）飛行測試，使用一架手持式「褐雨燕」（Swift）小型無人機，控制中心將 AI 飛控電腦的自動飛行軟體上傳至無人機，傳輸自動駕駛資訊如位置、速度及返航方向等。

圖 4、褐雨燕無人機

[14] Paul McLeary, "USAF Wants Drone Swarms, AI To Buy Space," *Breaking Defense,* August 02, 2018, https://breakingdefense.com/2018/08/usaf-wants-drone-swarms-ai-to-buy-space.

圖片來源：USAF. https://www.executivegov.com/tag/testing-of-autonomy-in-complex-environments/.

TACE 使用一套自動飛行演算法控制飛機，沒有任何直接的人為干預。TACE 的兩項機制，第一是自主監控，若在自動指揮飛行過程中違反安全參數，例如接近其他飛機、飛出空域或失去與其他地面控制單位的接觸，TACE 便會中止自主飛行，回到設定的安全空域巡航。第二是現場虛擬建構（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，可以模擬傳統裝備需運用大量實體裝備才能得到的測試結果。[15]

「忠誠僚機」（Loyal Wingman）目的是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，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，計畫使用 15 架無人機作為測試機，其中一部分時速可達 300 公里。目前波音將持續增加測試時飛行速度及任務的複雜度，近期曾搭配 5 架具備 300 公里時速飛行能力的無人機，進行最大速度飛行實驗，目的在發展、模擬與測試任務系統行為，並逐漸增加其能力，諸如情監偵、情況覺知等。[16]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，[17]其目的是發展一種低成本的忠誠隊友無人機，能與空軍第五代戰機協同作戰。[18]

美國空軍實驗室（AFRL）的 XQ-58 女武神（Valkyrie）已分別

[15] 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.

[16] "Boeing Accelerates 'Loyal Wingman' Drone Program," *Defense-blog*, August 16, 2019, https://defence-blog.com/army/boeing-accelerates-loyal-wingman-drone-program.html?fbclid=IwAR0fVKv0hzadJWSupUlGHnFxOnYnPJpciipcysCJV2jL46eoNYCKEnZfKGM.

[17] 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.

[18] Tamir Eshel, "A Locally Developed 'Loyal Wingman' to Fly in Australia by 2020," *Defense Update*, February 27, 2019, https://defense-update.com/20190227_ats.html.

在今年 3 月及 6 月成功完成 2 次僚機試飛。澳洲空軍希望這種無人噴射機可以飛行 2,000 哩，與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，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。[19]

美國空軍實驗室另一項計畫稱為「天空堡壘」(Skyborg)，可視為是人工智慧飛行員，可與真正的飛行員共同訓練與學習，並面對人類難以處理的威脅。目前這項計畫仍在起步階段，未來「天空堡壘」會與各型有人及無人機整合，有可能是 QF-16 靶機、XQ-58 匿蹤無人機，或是 BQM 靶機。若能透過天空堡壘計畫將這些低成本無人機整合，便可由無人機進入危險空域執行任務，運用 AI 能較人類飛行員更快速反應威脅。

圖 5、天空堡壘計畫概念

圖片來源：USAF. https://www.airforcemag.com/three-companies-win-new-skyborg-prototyping-contracts/.

XQ-58 是美國空軍快速發展低成本全翼式匿蹤武裝無人機計畫

[19] Joseph Trevithick, op cit.

的努力之一，「天空堡壘」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，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。

隨著 AI 技術的運用，空軍將面臨一系列問題，例如運用 AI 的無人僚機可以執行什麼任務？可以自主決定發射武器嗎？武器系統在壽期中可以根據其學習過程而改變多少？天空堡壘計畫將可協助國防部決定 AI 能擁有多少自治權。AI 技術發展快速，目前雖尚無解決作戰困境的 AI，但一旦擁有，政策會很難趕上，若不能制定新政策，就不得不讓前線指揮官對如何使用 AI 下決定。[20]

三、美國海軍艦載無人機

美國海軍也增加在無人操作系統的發展，包括無人機以及無人艦艇，海軍無人機則包括旋翼式無人機，如使用在小型船艦上的 RQ-8 無人直升機；小型的 RQ-21 戰術無人機，以彈射方式起飛、攔截降落，以利在水面艦的直升機甲板操作；最大的 RQ-4 無人機是用於遠洋海上巡邏，由陸地基地起降；最新發展的 MQ-25 則是航艦起降的無人空中加油機。

美國海軍艦載無人機則經歷多次計畫目標的轉變，原本計畫發展「無人艦載監偵及打擊」（Unmanned Carrier Launched Airborne Surveillance and Strike, UCLASS），2012 年轉為以情、監、偵為主要

[20] Valerie Insinna, "Introducing Skyborg, Your New AI Wingman," *C4ISRNET*, March 14, 2019, https://www.c4isrnet.com/air/2019/03/14/introducing-skyborg-your-new-ai-wingman/.

任務導向，後來在國防部對無人機戰略計畫審查（UAV Strategic program review, SPR）後，2016 年 UCLASS 計畫轉變為「艦載空中無人加油機」（Carrier Based Aerial Refueling System, CBARS），並被賦予 MQ-25 的正式編號，暱稱為「魟魚」（Stingray）。[21]MQ-25 計畫是基於實驗成功的 X-47B，其自動化操作已比過去的無人機更進一步，採用完全無垂直尾翼、無水平尾翼的平滑造型，其匿蹤性能遠比目前服役與即將服役的第 5 代戰機優異。總共有兩架 X-47B 被製造用以進行艦上實驗，並交由第 23 空中測評中隊（VX-23）進行測試。[22]X-47B 採用兩套導航模式，一是絕對 GPS 定位導航，用於陸上基地起降，二是精確 GPS 定位導航，則用在降落於移動中的航艦。2014 年 5 月 14 日，X-47B 首度在喬治布希號航空母艦彈射升空，同年 7 月完成首次航艦降落成功。

波音公司在 2018 年擊敗洛馬及諾格，獲得 MQ-25 發展合約，並在 2019 年首飛，2021 年 6 月完成空中自動加油測試，將在今年（2022）進行航艦操作的認證，預計 2025 年達到初始戰力。MQ-25 可攜帶 1 萬 5 千磅燃油，在離航艦 500 哩半徑飛行，將能大幅增加 F/A-18E/F 及 F-35C 的作戰範圍，可說是真正的「戰力倍增器」。[23]另外波音公司也計畫運用「有人—無人團隊」技術，讓 MQ-25 能自主進行任務規劃，[24]這將讓艦載無人機具備更大發展潛力。

伍、結論

[21] Sam LaGrone, "It's Official: 'MQ-25A Stingray' U.S. Navy's Name For First Carrier UAV," *USNI News*, July 15, 2016, https://news.usni.org/2016/07/15/official-mq-25a-stingray-title-navys-first-carrier-uav.

[22] "X-47 Embarked Unmanned & Unbelievable: Flight Ops on the USS George Bush," *Air International*, Vol.85, No.1, July 2013, p.70.

[23] Mallory Shelbourne, "MQ-25A Unmanned Prototype Now on Carrier George H.W. Bush for At-Sea Testing," *USNI News*, December 2, 2021, https://news.usni.org/2021/12/02/mq-25a-unmanned-prototype-now-on-carrier-george-h-w-bush-for-at-sea-testing.

[24] Megan Eckstein, "Boeing Conducts First Manned-unmanned Teaming Event with MQ-25 Tanker," *Defense News*, August 5, 2021, https://www.defensenews.com/digital-show-dailies/navy-league/2021/08/04/boeing-conducts-first-manned-unmanned-teaming-event-with-mq-25-tanker/.

美國國防部對不同型式無人機詳細歸類，可為無人機的操作、後勤支援、任務規劃、部隊編組及人力安排，有清楚的方向。有助各軍種建立無人機需求時的參考。另外也為未來無人機規劃發展戰略。陸、海、空等軍種雖依其作戰特性，對無人機有不同發展要求與方向，然而也具一定共通性，例如運用 AI 的自主操作、人機協同、有人—無人機協調等，未來將可能改變戰場的作戰模式。

對國軍而言，無人機的運用仍在探索階段，相較於對手可能對國軍造成的威脅，以及作戰環境的詭譎多變，不論是自製或外購無人機，如何部署、運用無人機支援作戰，以及參考先進無人機設計，如 4 軸固定翼式無人機、匿蹤設計、一定程度的自主操作、以及對現有無人系統的開發運用，應結合國內科技實力，並將無人機運用在國軍最迫切的作戰需求上，使無人機對戰力發揮有效的加乘效果，這都是國軍未來的重要課題。

本文作者舒孝煌為淡江大學國際事務與戰略研究所博士，現為財團法人國防安全研究院中共政軍與作戰概念研究所副研究員。

The Future Drone Development and Use Concepts of the US Military

Hsiao-huang Shu

Associate Research Fellow

Abstract

US military services are currently putting forward future drone development plans in accordance with their respective role and pressing need to meet future battlefield threat. As well as using vertical take-off technology, etc., the US Army's current drone development direction needs to enhance manned-unmanned teaming (MUM-T) capability, and simplify operations, logistics and transportation to lighten the burden of the operator. Using AI autonomous operation and other technology so that drones can be operated collaboratively or can continue to automatically operate in a severe electronic interference environment to make drones part of the combat team will have a multiplying effect on combat capability. The US Air Force's Loyal Wingman and cluster type automatic collaborative operation are also based on the same idea, giving drones the ability for autonomous operation and carrying out dangerous missions in place of manned aircraft to reduce the risk to manned aircraft. The US Navy has developed drones that can automatically land and take off from an aircraft carrier and can automatically carry out in-air refueling to increase the combat range of shipboard aircraft, as well as retaining space for expanding drone missions. Taiwan's military is at the exploratory stage when it comes to drones. With drones likely to pose a threat to national security, in future, in combination with national technology power, the

mission of drones should be explored and use scope expanded to use drone for the most pressing combat needs, having combat capability multiplying effect.

Keywords: drone, Loyal Wingman, cluster technology, manned-unmanned teaming (MUM-T)

美國海軍發展無人水面載具的現況與挑戰

翟文中

國防戰略與資源研究所

壹、前言

在近來出現的許多區域衝突中，我們不時地可透過電視螢幕或影音平台看到下列畫面：無人地面載具協助士兵執行巡邏或拆卸爆裂物以及無人空中載具對敵發起斬首行動或是進行精準打擊。另一方面，無人水面載具的發展卻甚少受到人們關注。隨著美國海軍作戰概念的演進與發展，不論是過去的「分散式殺傷」（Distributed Lethality）或當前的「分散式海上作戰」（Distributed Maritime Operations, DMO），無人系統的重要性與日俱增，無人水面載具在未來兵力結構中將扮演「力量倍增器」（Force multiplier）的關鍵性角色。[1]本文將對美國海軍發展無人水面載具議題進行探討，內容包括美國海軍作戰概念的演進與無人水面載具的當前發展與未來挑戰，藉此對美軍何以發展無人水面戴具能有較為完整的認識，對其在未來海戰中的角色及具有的價值亦有所瞭解。

貳、作戰概念：由「分散式殺傷」到「分散式海上作戰」

2015 年 1 月，《美國海軍學會學刊》（U. S. Naval Institute Proceedings）的文章中，首度引進了「分散式殺傷」的嶄新概念，該文由海軍上將羅登（Thomas Rowden）及芬達（Peter Fanta）與古瑪陶陶（Peter Gumataotao）兩位海軍少將共同發表，該文要求海軍

[1] Peter J. Winstead, *Implementation of Unmanned Surface Vehicles in the Distributed Maritime Operations Concept* (Master Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California, December 2018), p.xxiv.

「必須改變當前作戰方式……用以確保美國在全球的優勢海上力量」,「分散式殺傷」係透過強化水面艦船的殺傷力，使美國海軍成為一支具攻勢與創新的海上武力。[2]2017 年 1 月，美國海軍水面部隊司令部發佈《水面部隊戰略：回到海洋控制》（Surface Force Strategy: Return to Sea Control）文件，對「分散式殺傷」的概念及其三項主要原則：「分散式殺傷」、「利用地理位置分散部署攻勢能力」與「提供水面艦船適當的資源組合支持其進行持久作戰」進行了詳細地說明。[3]

2018 年 12 月，美國海軍軍令部長理察森（John Richardson）簽署發佈名為《維持海洋優勢的設計 2.0》（A Design for Maintaining Maritime Superiority, Version 2.0）的戰略文件，正式提出「分散式海上作戰」一詞，[4]此概念源自於 2015 年提出的「分散式殺傷」概念。[5]其後，理察森上將在接受美國海軍學會訪問時指出，「分散式殺傷」聚焦於個別水面艦船，「分散式海上作戰」則以艦隊層級的主要作戰進行考量。[6]雖然，這兩個不同的作戰概念著眼點不同，但皆係對當前各國反介入及區域拒止（anti-acess/area denial, A2/AD）能力日增的適切回應，尤其係針對中國與俄羅斯對美國海軍具有的巨大威脅。[7]事實上，「分散式殺傷」與「分散式海上作戰」皆是將作戰力量分散至眾多水面載台與廣大的海洋空間，用以防止核心戰力為

---

[2] Greata S. Densham, *Building the Warrior Ethos in the Surface Warfare Community: A Culture Change for Distributed Lethality* (Newport, RI: U.S. Naval War College, June 7, 2016), pp.7-8, https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1058289.pdf.

[3] T. S. Rowden, *Surface Force Strategy: Return to Sea Control* (San Diedo, U.S.: Navy Surface Force Commander, January 1, 2016), pp.9-10, https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1024229.pdf.

[4] Chief of Naval Operations John Richardson, *A Design for Maintaining Maritime Superiority*, Version 2.0（United States Navy, December 2018）, https://media.defense.gov/2020/May/18/2002301999/-1/-1/1/DESIGN_2.0.PDF.

[5] Peter J. Winstead, *Implementation of Unmanned Surface Vehicles in the Distributed Maritime Operations Concep*, p.xxiii.

[6] Megan Eckstein, "Navy Planning for Gray-Zone Conflict, Finalizing Distributed Maritime Operations for High-End Fight," *USNI News*, December 19, 2018, https://news.usni.org/2018/12/19/navy-planning-for-gray-zone-conflict-finalizing-distributed-maritime-operations-for-high-end-fight.

[7] 雷清宇，〈美海軍重新掌握制海之水面作戰戰略——分散式殺傷〉，《海軍學術雙月刊》，第 54 卷第 1 期，2020 年 2 月，頁 11。

敵殲滅，避免美軍陷於被動挨打不利態勢，後者進一步將前者的作戰領域由水面作戰擴及整個作戰領域。[8]

「分散式海上作戰」考量的不僅是將攻勢打擊做為贏得戰鬥的主要戰術，亦將對抗環境中有效欺騙與混淆敵人列為重要任務。[9]在這種情況下，為了增加分散載台數量，降低為敵偵知和標定的風險，美國海軍近來持續進行無人水面載具的研發。無人載具的戰力遠不及有人載具，但仍是敵人須處理與接戰的目標，這將增加敵人在決策時的複雜性與困難度。為了提升水面艦船的存活力與行動時的隱蔽性，亦須提升有人與無人載台的電子防禦能力。[10]因此，美國海軍更將新造無人載台上的感測器與各項裝備悉數納入「針對整合感測器的多元素信跡網路化模擬」（Netted Emulation of Multi-Element Signature Against Integrated Sensors, NEMESIS）計畫內，此系統具通信、欺敵與電子干擾等各種功能，可對無人系統執行「分散式海上作戰」提供有力的支撐。[11]

參、美國海軍無人水面載具發展現況

2019 年起，美國海軍與國防部開始發展一個嶄新海軍兵力目標，用以取代先前總數 355 艘艦船的建軍規劃，為落實「分散式海上作戰」概念，這個嶄新艦隊架構可望包括以下三個部份：少量大型艦船（如巡洋艦與航空母艦）、大量小型艦船（如巡防艦與小型兩

---

[8] Christopher H. Popa, et al., *Distributed Maritime Operations and Unmanned Systems Tactical Employment*, System Engineering Capstone Report (Monterey, California: Naval Postgraduate School, June 6, 2018), pp.xix-xx.

[9] Ibid., p.xx.

[10] 雷清宇，〈美海軍重新掌握制海之水面作戰戰略——分散式殺傷〉，頁 17-18。

[11] 此計畫將各種不同型式的無人載台、艦載與潛艦系統、反制措施、電子作戰酬載以及通信科技予以整合，透過電磁與聲學手段將虛假的飛機、船艦與潛艦等目標組成的「幽靈艦隊」，投射至敵人艦船與潛艦等載台的傳感器上，用以干擾敵人達成欺敵目的。倘若敵人的感測器廣泛地分佈在各個不同戰鬥領域，NEMESIS 系統可對敵人的感測器執行大規模的電子攻擊，用以獲致全面性的攻擊效果。相關說明參見"The U.S. Navy Completes the "UxS IBP 21" Exercise at the San Diego Naval Base in California," *MINNEWS,* February 21, 2022, https://min.news/en/military/6bb333fe02c47dd7ac85ca5cfd09ea98.html.

棲艦等）與大型無人載具等三大部份。[12]2020 年 12 月，美國海軍發佈長期造艦計畫，提出的艦隊架構包括 382 至 446 艘的有人艦船與 119 至 166 艘的大型與中型無人水面載具。[13]2021 年 6 月，美國海軍又對艦隊架構的數量進行修正，提出的兵力需求為 321 至 372 艘的有人艦船與 59 至 89 艘的大型與中型無人水面載具。[14]雖然數量迭經修改，無人水面載具在美國海軍水面艦隊的重要性未曾改變，主因係其日增的能力、較低的籌獲與維持成本、降低人員傷亡風險與分擔有人艦船任務負荷，從而提高軍事戰備水準。目前，美國國防部戰略能力辦公室（Strategic Capabilities Office, SCO）對中、大型無人水面載具規劃任務如下：前者執行電子戰與情監偵任務；後者配備垂直發射系統執行對地攻擊與反水面作戰（anti-surface warfare, ASuW）任務。[15]

2019 年 5 月，美國海軍將一艘朱瓦特級飛彈驅逐艦與一艘中型無人水面載具「海獵人號」（Sea Hunter）納編成立了水面發展支隊（surface development squadron），用以協助中、大型無人水面載具發展作戰概念。[16]2021 年 4 月，美國海軍太平洋艦隊在加州聖地牙哥舉行「無人整合戰鬥課題 21」（Unmanned Integrated Battle Problem 21, UxS IBP 21）演習，這次演習的主要目的係驗證有人與無人載台整

---

[12] Ronald O'Rourke, *Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress*, updated (Washington, D.C.: Congressional Research Service, September 30, 2021), p.4.

[13] Office of the Chief of Naval Operations, *Report to Congress on the Annual Long-Range Plan for Construction of Naval Vessels* (Washington, DC: U.S. Navy, December 9, 2020), p.23, quoted in Ronald O'Rourke, *Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress*, p.5. 美國海軍定義的大型無人水面載具係指船長 200-300 英呎且滿載排水量 1,000-2,000 噸的無人載台，其尺寸約與護衛艦相當。中型無人水面載具指船長 45-190 英呎且排水量約 500 噸左右的無人載台，其大小約與巡邏艇相當。

[14] Office of the Chief of Naval Operations, *Report to Congress on the Annual Long-Range Plan for Construction of Naval Vessels for Fiscal Year 2022* (Washington, DC: U.S. Navy, June 2021), p.16, quoted in Ronald O'Rourke, *Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress*, p.5.

[15] Ronald O'Rourke, *Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress*, pp.5, 11, and 14.

[16] Megan Eckstein, "Navy Stands Up Surface Development Squadron for DDG-1000, Unmanned Experimentation," *USNI News*, May 22, 2019, https://news.usni.org/2019/05/22/navy-stands-up-surface-development-squadron-for-ddg-1000-unmanned-experimentation.

合，將其運用於最具挑戰的作戰場景以形塑作戰優勢。這是美國海軍首次將空中與海上有／無人系統同時納入的操演，除對未來涵括有人與無人艦船的混合艦隊（hybrid fleet）進行測試外，亦對發展無人水面載具的各項需求與指管通信架構進行相關的探討。[17]參與此次演習的兵力包括了艦船、潛艦、戰機、無人水面與水下載具以及無人空中載具等。[18]此次測試成功驗證了無人機艦在情監偵領域的巨大潛力，期間美海軍「芬恩號」（USS *John Finn*, DDG 113）飛彈驅逐艦，利用無人機艦提供的情資，導引標準6型飛彈精準地命中402公里外的目標。[19]未來，水面發展支隊將會納編更多與不同類型的無人水面載具進行作戰概念驗證，科目由情監偵擴及對地攻擊與反水面作戰等領域，用以驗證其整體戰力是否滿足「分散式海上作戰」的戰略構想。

肆、美國海軍無人水面載具未來挑戰

2021年5月底，一艘原型無人載具「牧羊人號」（Nomad）由墨西哥灣駛抵聖地牙哥，在這次超過4,000英里的航程中，這艘船舶幾乎在沒有人為操作的情況下，採自主模式成功地完成這次海上航行測試。[20]「牧羊人號」的成功遠航與其後舉行的「無人整合戰鬥課題

---

[17] Megan Eckstein, "Navy Kicks Off First Fleet Exercise Focused On Role of Unmanned Systems," *USNI News,* April 19, 2021, https://news.usni.org/2021/04/19/navy-kicks-off-first-fleet-exercise-focused-on-role-of-unmanned-systems.

[18] 此次參演的有人載台包括了濱海戰鬥艦、勃克級飛彈驅逐艦、朱瓦特級飛彈驅逐艦、安克拉治級兩棲船塢運輸艦、洛杉磯級核子動力攻擊潛艦、提康德羅加級飛彈巡洋艦、P-8A反潛巡邏機、E-2C空中預警機、EA-18G電子作戰機與MH-60R及MH-60S直升機。無人載台則有中型無人水面載具「海上獵人號」、T38無人水面艇、Vanilla超長程無人機、MQ-8B無人空中載具、MQ-9無人空中載具與多款小型與中型無人水下載具。"The U.S. Navy completes the "UxS IBP 21" exercise at the San Diego Naval Base in California," *MINNEWS,* https://min.news/en/military/6bb333fe02c47dd7ac85ca5cfd09ea98.html.

[19] 王能斌，〈無人機供目標芬恩號擊中400公里外目標〉，《青年日報》，2021年4月28日，https://tw.news.yahoo.com/%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E4%BE%9B%E7%9B%AE%E7%8D%B2-%E8%8A%AC%E6%81%A9%E8%99%9F%E6%93%8A%E4%B8%AD400%E5%85%AC%E9%87%8C%E5%A4%96%E7%9B%AE%E6%A8%99-160000354.html。

[20] Andrew Dyer, "Pentagon Adds 'Ghost Fleet' of Autonomous Ships to San Diego's Cutting-edge Navy Squadron," *The San Diego Union Tribune*, June 12, 2021, https://www.sandiegouniontribune.com/news/military/story/2021-06-12/ghost-fleet-autonomous-

21」演習，對美國海軍未來建立「混合艦隊」無疑地具有鼓舞的作用。證諸以往經驗，當科技運用於新興軍事領域時，初期階段通常都會面臨諸多技術瓶頸與工程挑戰。目前，研發無人水面載具涉及的核心科技與賦能能力（enabling capabilities）涵蓋面向甚廣，包括艦船系統的自主性管理以及航行、指管通信、有人／無人載台協同與酬載的發展與整合等。[21]鑑於福特級航艦裝備未經驗證就直接上艦安裝的慘痛教訓，美國國會在《2021 年會計年度國防授權法》（National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2021）法中，要求海軍須對中大型無人水面載具的主機、電機與重要裝備進行陸基原型測試，俟裝備性能通過測試達標後始可採購。[22]美國國會這種做法祇能降低財政風險而非技術風險，若其涉及的各項技術瓶頸無法獲得重大的突破，中大型無人水面載具的部署時間將會延後，建造成本亦將大幅提高。

除了前揭的各項技術風險外，美國海軍在發展無人水面載具涉及到許多與人有關的問題，包括操控無人載具人員所需的技能、訓練與職涯發展路徑（career paths）；操控有人艦船與無人水面載具人員間的關係界定以及人在指揮迴路中的位置，若採自主模式操作，當發生事故時將產生難以究責的困境，當中尤以致命自主性武器系統（lethal autonomous weapon systems）的使用為然。由於美國海軍未來計畫在大型無人水面載具上配備戰術攻陸巡弋飛彈，因此無人水面載具航行時的安全維護就十分地重要，如何防止敵方派遣特工人員將其擊沉或施以破壞甚至強行佔有，就成為一個極具挑戰的議題。例如，2016 年 12 月，美國海軍在南海回收一艘故障的水下無人

ships.

[21] Ronald O'Rourke, *Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress*, pp.29-30.

[22] The Senate of the United States, "SEC. 122. Limitation on Navy Medium and Large Unmanned Surface Vessels," *National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2021*, July 2, 2021, pp.35-37, https://www.armed-services.senate.gov/imo/media/doc/S4049%20-%20FY%202021%20NDAA.pdf.

載具時，竟遭中共海軍潛艦救難艦撈走，這起事件曾引發美國國會與軍事觀察家的高度關注。此外，若敵方能破解或侵入無人水面載具的防篡改機制（anti-tamper mechanisms），就有可能將此等載具的導航數據與接戰規則（rules of engagement）下載，取得這些資訊後即可用來對付美軍相類似的無人水面載具。[23]這些非科技性難題必須得到妥善解決，否則美國國會對無人水面載具的研發與部署將做出若干程度的限制。

伍、結語

由於中國與俄羅斯的反介入／區域拒止能力日增，美國海軍基於抵消對手並保有本身戰力的考量，先後提出「分散式殺傷」與「分散式海上作戰」的嶄新作戰概念。為將這兩項概念轉化為實際的作戰能力，美國海軍近來積極進行無人系統的研發，當中尤以無人水面載具為然。從其兵力結構的轉變過程中，清楚看到美國海軍如何因應外在威脅變化，發展出嶄新的作戰概念以為因應，從而確保其既有的海上優勢。因此，作戰構想與兵力結構的發展都是一個動態過程，國防計畫者必須審時度勢對作戰環境進行前瞻研判，並能以「今日的預算因應明日的威脅」，適時進行兵力結構的調整與修正。若無人水面載具能順利研發與部署，美國海軍將成為一支有人與無人載具結合的「混合艦隊」，在執行枯燥、骯髒或危險（dull, dirty, or dangerous）任務時，甚至可以一支完全由水面與水下無人載具組成的「幽靈艦隊」（ghost fleet）進行，從而減少官兵的體力負荷並降低人員傷亡的風險。

與美國海軍相似的，我國海軍同樣面對中共海軍艦船數量日增與攻船飛彈射程增長的巨大威脅。因此，海軍應思考如何將戰鬥力

[23] Ronald O'Rourke, *Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress*, pp.27-28.

分佈至更多的載台，否則當我核心戰力在敵首波攻擊下耗損過鉅時，將喪失後續反攻階段必須具備的戰力基礎。我國海軍進行建軍規劃時，可適度引進美軍的「分散式殺傷」或「分散式海上作戰」概念，並與現行的作戰想定結合，俾針對中共海軍的戰法戰術與兵力發展，建立一套能有效因應未來可能威脅的用兵思維與兵力架構。就當前言，無人系統未來將在軍事作戰扮演重要角色，亦是弱勢海軍抵消強勢海軍戰力的不對稱手段。台灣少子化與國防預算有限的雙重限制，加上國內學界研發無人載具亦具相當能量，因此發展一支以有人與無人載具組合的「混合艦隊」應是可行的選項之一，除可節約人力與保存戰力外，亦有助國內廠商參與國防建軍，這是將國家有限資源作創意式運用以擊敗敵人的最佳途徑。

作者翟文中為淡江大學國際事務與戰略研究所碩士，現為財團法人國防安全研究院助理研究員，主要研究領域為海軍戰略、海軍科技與海軍歷史。

The Current Status and Future Challenges of US Navy Unmanned Surface Vehicle Development

Wen-Chung Chai

Assistant Research Fellow

Abstract

With anti-ship missile range extending and sensor accuracy increasing, littoral countries possess the ability of anti-access/area denial more than ever. The US Navy introduced the "Distributed Lethality" and "Distributed Maritime Operation" concept to respond to challenges. Through combat capability contribution to more platforms and extensive space, the US Navy can maintain sufficient combat power and secure a favourable operational position. In order to implement its operational concept, the US Navy has actively developed unmanned surface vehicles in recent years. Increasing the number of vehicles can disturb the enemy's decision processes and allow more forces to be deployed for detection, tracking, and engagement. In the foreseeable future, the US is expected to have a hybrid fleet that combines manned and unmanned vehicles. Distributed fleet architecture can help the US Navy maintain maritime supremacy for an extended period of time.

Keywords: Distributed Lethality, Distributed Maritime Operation, Unmanned Surface Vehicles, Hybrid Fleet

無人機與戰場通訊中繼

曾怡碩

網路安全與決策推演所

壹、前言

近年共機擾台不斷，其機型與樣態的變換，目的除了刺探我軍空防配置、加速我空軍戰機耗損，並企圖在我軍雷達與防空陣地監控共機之際，能趁機蒐集電磁參數。去（2021）年 10 月 22 日經我國防部證實，共軍1架無人機襲擾台灣西南防空識別區（ADIZ），我軍以雷達、飛彈持續監控。共軍此舉除試探我空軍因應作為之外，也實際展現其對於遠距操控無人機的通訊管制能力。

無人機在情監偵-打擊的效能日益彰顯，無論是對於無人機的飛行控制、還是無人機的感知資料傳輸，均須仰仗控制站對於無人機以及無人機之間的通訊。鑒於台海防衛作戰時，我軍地面之指管通情監偵在遭敵破壞後，面臨戰場通訊的重大挑戰。無人機為不對稱作戰利器，尤其在台海防衛作戰構想中，對於制海、反登陸、國土防衛作戰之指管通資情監偵之備援，可謂至關緊要。若能充分運用無人機通訊中繼的功能，將有助於增進、維繫或恢復戰場管理效能。故實有必要針對無人機在戰時通訊中繼的作用，做進一步檢視。以下以文獻分析法，分別檢析無人機通訊中繼之運用、作戰面臨之威脅與應用侷限，最後並提出我軍運用對策之初步建議。

貳、運用無人機作為通訊中繼

戰場傳輸訊號會受到地形阻擋、地球曲率和大氣吸收等因素的影響，引起電波的反射、散射和繞射，爲克服地形、地物以及大氣等因素的影響，並延伸訊號的有效距離，通訊中繼是一種普遍採用

的方式。飛行高度約在距地表 20 公里的平流層高空氣球、[1]以及太空低軌或同步軌道通訊衛星，都是比無人機更早出現的選項。但無人機相對而言，具備成本與機動性兩大優勢，加上可低速滯空相對隱匿，較難遭目獲摧毀的特性，以無人機進行通訊中繼運用，已成為戰場通訊韌性不可或缺的備援選項。

對於無人機飛行控制與訊息傳輸，不外乎透過衛星或者空中/地面通訊進行。在無人機通訊網路中兩個裝置或節點之間的信號交換頻道稱為通訊鏈路。控制站與無人機之間進行的即時訊息交換便需要通過通訊鏈路來實現。[2]因此，無人機彼此之間可為通訊中繼，僅需配備通訊裝備，即可擔任無線電通訊中繼站，相當於充當空中基地台，俾利克服陸上地形複雜狀況及海上、空中遠距通訊不繼之狀況，延伸通訊距離，以彌補衛星通訊之不足，故可謂「窮國的衛星」。[3]

近年所見多為災防時以無人機做為通訊中繼，透過無人機飛到災區，提供 WIFI、LTE、4G 的通訊環境，形成空中網路熱點讓災民可以取得通訊。[4]視距外飛行作業則可運用通訊回傳即時的資料與影像，尤其對於救災現場評估與物資運送至為緊要。2018 年台灣首度使用無人機進行偏鄉山區醫療物資運補，將毒蛇血清從海拔最高的阿里山鄉衛生所遞送至里加部落，原本一個小時以上車程遞送時間，縮短到僅十分鐘，全程使用 4G-LTE 通訊。[5]近期對岸運用無人

[1] David Hambling，〈新型太空競賽——那些比空氣更輕的航空器〉，《BBC 中文網》，2018 年 6 月 24 日，https://www.bbc.com/ukchina/trad/vert-fut-44591893。

[2] 高丈淵，〈無人飛行載具市場及觀察與投入評估建議〉，《工程》，第 93 卷第 4 期，2020 年 12 月，頁 31，http://www.cie.org.tw/cms/JournalFiles/10912_all.pdf。

[3] 陳欣倫，〈UAV 納入陸戰隊情監偵運用之研究〉，《海軍學術雙月刊》，第 51 卷第 2 期，2017 年 4 月 1 日。

[4] 林俊佑，〈論無人機商用服務與整合技術〉，《工程》，第 93 卷第 4 期，2020 年 12 月，頁 82，http://www.cie.org.tw/cms/JournalFiles/10912_all.pdf。林昱甫、馬鈞文、陳力諺、彭智冠，〈無人機酬載與應用趨勢分析〉，《工程》，第 93 卷第 4 期，2020 年 12 月，頁 78，http://www.cie.org.tw/cms/JournalFiles/10912_all.pdf。

[5] 張東琳，〈商用無人機視距外飛行（BVLOS）的應用發展〉，《工程》，第 93 卷第 4 期，2020 年 12 月，頁 61，http://www.cie.org.tw/cms/JournalFiles/10912_all.pdf。

機作為災區通訊中繼最著名例子，就是 2021 年河南水災時，中共以軍用翼龍二型無人機改造之翼龍2H 救災無人機，搭配地面控制站與吊掛應變通訊夾艙，在「斷路、斷電、斷網」環境下，投入災防應變任務。該機飛行近 1200 公里後，搭起空中移動信號基站，短暫恢復穩定連續的中國移動公網通訊，覆蓋範圍達約 50 平方公里，不到 2 小時內就累計接通了 2572 個用戶，產生 1089.89M 的流量。[6]

無人機在戰時作為受損通訊中繼系統的替代、甚至可讓地面倖存之雷達、基地台，透過中繼無人飛行載具進行廣播，對於台海防衛作戰指管通資情監偵系統承受戰損後的通訊中繼，具有關鍵備援的重要角色。利用無人機攜帶網路通訊裝置在戰區快速建立空中無線中繼骨幹（backbone)網路，依環境限制自動形成無線骨幹「拓撲」(Topology)。「拓撲」乃一視距外多機飛行控制系統，可同時監看多架無人機之飛行航線與狀態，在必要狀況下能遠端命令無人機降落或返航。[7]當無線連結中斷時，無線骨幹「拓撲」可運用「行動隨意網路」(Mobile Ad Hoc Network，MANET）立即啟動節點自組織修復機制，自動反應調整路由規劃，將封包導向備援路徑，維持穩定的空中無線中繼骨幹網路連線品質。[8]

參照無人機於災區建立通訊中繼的概念，在遭遇敵攻擊導致基地台、基礎網路建設損毀時，無人機隊建立機對機通訊連結，可延伸並擴大訊號覆蓋範圍，在空中形成一個「多跳」(multi-hop）無線中繼骨幹網路，可依布建範圍需求而採多台串接延伸至戰區內，在基礎網路建設被破壞的戰區裡，達成戰區資訊的即時傳輸。當連結

[6] 楊晨、劉彥君，〈"四川造"翼龍無人機為災區送去手機信號〉，《華西都市報》，2021 年 7 月 23 日，https://e.thecover.cn/shtml/hxdsb/20210723/157165.shtml。

[7] 張東琳，〈商用無人機視距外飛行（BVLOS）的應用發展〉，頁 60。

[8] 康又升、何承運，〈無人機救災通訊應用〉，《工業技術研究院電腦與通訊月刊》，2020 年 11 月 25 日，https://collegeplus.itri.org.tw/2020/11/25/%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E6%95%91%E7%81%BD%E9%80%9A%E8%A8%8A%E6%87%89%E7%94%A8/。

到堪用基地台所發送訊號，就可用多個具備對外連線的無人機，分散戰區所需要的對外連線，且封包傳遞是由每個節點依照智慧路由演算法，做出最佳路由決策進行動態路由，如此可避免網路因為中央控制器失效時，無法串接空中無線中繼骨幹網路的「單點失效」（single point of failure）問題。無人機隊將在戰區建立「網狀」（mesh）的空中無線中繼骨幹網路，若需要連線至對外網路時，無人機將使用捷徑路由技術，以距離最近的對外通訊之無人機進行數據傳輸。在無人機需緊急迫降或者本來提供對外連線之無人機無法提供網路時，運用容錯轉移技術，自動切換到其他可對外連線的無人機，等待迫降之無人機重新上線之後，將自行恢復無人機之間的通訊鏈路，以增強通訊韌性。[9]

參、無人機通訊中繼面臨之威脅及侷限

無人機通訊中繼有其侷限，例如，無人機太接近電塔、基地台、或頻段接近的電台廣播，無線遙控和即時影像傳輸的訊號便很有可能會受到干擾。[10]另一方面，無人機擔任通訊中繼任務面臨的侷限，往往來自所受之威脅。事實上，無人機遭受之威脅，與一般反制無人機無異，在本期特刊另有專文分析無人機遭受之反制威脅，本文後續僅針對「非動能」（non-kinetic）手段進行分析。對於無人機飛行控制與訊息傳輸，不外乎透過衛星或者空中／地面通訊中繼進行，故衛星與地面站與無人機彼此之間無線通訊，成為反制關鍵所在。若要反制敵方無人機群，主要是使用雷達、紅外線、超聲波等感應器探測獲取目標後，進而運用無人作戰系統採無線通訊、控制的特點，藉由分析辨識和解碼等手段，以「軟殺」方式干擾或接管敵方對其無人機群的控制。[11]

[9] 康又升、何承運，〈無人機救災通訊應用〉。
[10] 林俊佑，〈論無人機商用服務與整合技術〉，頁89。
[11] 李佳琦，〈國防科大專家帶你解碼無人作戰蜂群戰術〉，《環球雜誌》，2020 年 12 月 21 日，

一、無人機通訊中繼面臨之威脅

（一）定位系統干擾

若發送與 GPS 同頻率干擾信號，或大功率偽造 GPS 信號，令無人機無法接收正確位置資訊。只要掌握公開的 GPS 訊號定義、通訊鏈、通訊協議，計算 GPS 訊號發送位置、時間，利用無人機選擇接受高強度訊號特性，以大功率發送具特定指向的偽造 GPS 訊號，即可達到欺騙攻擊目的。[12]

（二）通訊網路安全

鑑於無人機是透過無線通訊進行操作，訊號通道切換頻繁，網路「拓撲」變化迅速，通訊鏈路隨時切換，所以敵方可藉由發射大功率干擾訊號，覆蓋正常通訊，造成降低通訊品質、中斷通訊目標。此外，無人機中繼通訊必須嚴防惡意中繼問題，及資安議題中常見的「中間人威脅」(man-in-the-middle)[13]——敵方可以建立大量無人機虛假身份識別，變造虛假訊號傳送給我方無人機中繼傳訊；或者利用路由分配演算分配特性，藉由在兩惡意節點間建立傳輸大量傳輸訊號的隧道，取代原有正常通訊渠道，進而控制大部分路由並截取訊號。[14]在未經加密的通訊管道下操作無人機，可能讓敵方藉駭侵截取、修改、偽造影像、數據，甚至奪取控制權，使偏離原先任務目標，或癱瘓機體本身。[15]

因此，基於資訊安全考量，必須對無人機、伺服器、地面管控

---

http://www.81.cn/big5/jx/2020-12/21/content_9955747.htm；〈反無人機蜂群的“技”與“術”〉，《中國軍網》，引自《人民網》，2021 年 09 月 10 日，http://military.people.com.cn/BIG5/n1/2021/0910/c1011-32223504.html。

[12] 廖竣鍇、程永新、傅江，〈無人機系統安全保密體系研究〉，《通信技術》，第 53 卷第 9 期，2020 年 9 月，頁 2286。

[13] 蔡宜學，〈惡意中繼站伏擊通訊標準缺陷 假基地台恐成 5G 安全隱患〉，《新通訊元件雜誌》，2020 年 3 月 9 日，https://www.2cm.com.tw/2cm/zh-tw/tech/29A4205C3A3C4231A4C59D782CEF6359。

[14] 廖竣鍇、程永新、傅江，〈無人機系統安全保密體系研究〉，頁 2286。

[15] 林俊佑，〈論無人機商用服務與整合技術〉，頁 90。

制站軟、韌體系統中，增加驗證機制。[16]目前無人機通訊運用「軟體定義無線電訊號」（Software Defined Radio，SDR），以利達到跳頻保密作用；此外，無人機群「拓撲」系統能解析無人機傳輸之原始訊息，以加密的 HTTP 持久連線進行資料交換與共享。[17]在無人機安全保密方面，包括在物理層、鏈結層、網路層，藉由無線電頻率特徵識別、抗干擾、輕量級認證協議、無線接入控制、加密傳輸、攻擊測試以及 MANET 網路組織安全防護，達到無線網路安全。[18]

二、無人機通訊中繼侷限

（一）頻譜限制

商用無人機僅能基於國際電信聯盟無線電通訊部門（ITU, Radiocommunication Sector）的 ISM（Industrial Scientific Medical，ISM）頻段，包含了 13.56 Mhz、27.12 Mhz、40.68 MHz、433 Mhz、915 Mhz、2.4 Ghz、5.8 GHz 等頻段。[19]軍用通訊頻段一般在頻譜劃分時已另規劃專門頻段，但因商用通訊需求而面臨擠壓，且軍用無人機需要訊號傳輸距離較遠，在頻段使用必須有足夠頻寬，方足以支持高解析度影像的傳輸，若頻譜資源限縮導致共用頻譜的裝置增多，對無人機通訊干擾相對將較為嚴重。即使運用「跳頻」與「展頻」技術以提升無人機通訊之抗干擾能力，基於無人機 MANET 特性，個別節點即使具機動性，「跳頻」與「展頻」仍將受限於頻寬與網路容量。[20]

（二）酬載與續航力限制

無人機可同時身兼偵察與通訊中繼，以支援戰場指管通情監偵之韌性，另可遂行打擊任務。但無人機作為通訊中繼載台，除了其

[16] 林俊佑，〈論無人機商用服務與整合技術〉，頁 90。
[17] 張東琳，〈商用無人機視距外飛行（BVLOS）的應用發展〉，頁 60。
[18] 廖竣鍇、程永新、傅江，〈無人機系統安全保密體系研究〉，頁 2287。
[19] 林昱甫、馬鈞文、陳力諺、彭智冠，〈無人機酬載與應用趨勢分析〉，頁 66。
[20] 廖竣鍇、程永新、傅江，〈無人機系統安全保密體系研究〉，頁 2289。

酬載與續航力之外，還必須考量通訊基地台電源功率、散熱效能、尺寸限制、成本因素。若僅須滿足語音通訊，以數架無人機攜帶兩台國軍CS/PRC-37C跳頻無線電機，即可滿足聯兵營戰場通訊需求。但若既要滿足影音通訊，又要能長距離通訊傳輸，傳輸功率必須增強，勢必導致耗電力需求越大，電池重量也加大，而散熱需求也隨之增高。

若無人機需具備多重偵察或通訊手段，酬載可能有所限制之餘，也造成續航力受限。無人機若要實現「偵—打一體」，而戰場偵察結果須經通訊回傳指管中心評估後，再由指管中心下達攻擊命令。如此一來，偵察、通訊、定位、武器酬載負荷都會是無人機尺寸與續航力考量。此外，如前述無人機本身即具備一般通訊中繼功能，倘若該機主要肩負電戰干擾任務，因為必須針對敵之接收器予以定向大功率干擾，除了電力消耗考量之外，還要確保干擾方向與頻段不會影響到通訊鏈路。

肆、結語

無人機可作為台海防衛作戰制海、反登陸、國土防衛作戰之指管通資情監偵之備援，在地面固定通訊設施遭敵破壞或癱瘓時，運用無人機作為通訊中繼，對於戰場管理韌性至關緊要。在頻譜有限條件下，建立空中無線中繼骨幹網路，自動反應調整路由規劃，並運用「跳頻」與「展頻」實現抗干擾。值得注意的是，通訊中繼須防範偽造GPS信號以及資訊安全之「中間人威脅」，因此必須嵌入加密與認證機制。

運用無人機通訊中繼，有其酬載與電池功率限制，加上機件耗損與遭敵毀傷的考量，建議可以預置建立相當數量機隊及無人機用通訊設施，以滿足戰場通訊備援韌性需求。此外，在「偵測即嚇

阻」概念架構下，[21]我方宜優先與友盟建構通訊資料鏈結，藉我方與友盟通用無人機之內建通訊鏈結，作為未來建立共同作戰圖像之基石。最後，作為反向思考，考量通訊干擾的不利因素，我軍進行灘岸殲敵與國土防衛之不對稱作戰之際，「偵—打一體」無人機可考慮開發與配置影像解析邊緣運算裝置，由於相關裝置相當輕便，除有利實現快速打擊之外，也降低通訊載荷與通訊干擾之資安風險。

作者曾怡碩為美國喬治華盛頓大學政治學博士，研究領域為軍隊與網路安全、資訊作戰、數位監控。

[21] 「偵測即嚇阻」概念可參照以下報告：Thomas G. Mahnken, Travis Sharp, and Grace B. Kim, "Deterrence by Detection: A Key Role for Unmanned Aircraft Systems in Great Power Competition," *Center for Strategic and Budgetary Assessments*, April 14, 2020, https://csbaonline.org/uploads/documents/CSBA8209_(Deterrence_by_Detection_Report)_FINAL.pdf。

Drone Communication Relay on the Battlefield

Yi-Suo Tzeng

Assistant Research Fellow

Abstract

Using drones as “aerial base stations” for battlefield communications has the advantages of overcoming terrain barrier, being lower cost than satellite communications and low speed hover makes them relatively concealed, making them the “satellites of poor countries”. Drones are effective asymmetric warfare weapons; in particular, in Taiwan Straits defensive operations thinking, drones can substitute for damaged communications relay systems and can even allow surviving surface radar and ground stations to broadcast via relay Unmanned Aerial Vehicles, having a key backup role for communications relay in Taiwan Straits defensive operations when Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance *Systems* suffer battle damage in wartime. Under the condition of limited frequency spectrum, build an aerial wireless relay backbone network and automatic response adjustment of routing planning and use “frequency hopping” and “spread spectrum” to achieve interference resistance. In particular, communications relay must guard against fake GPS signals and cyber security “intermediary threat” and must be encrypted and have a verification mechanism. Also, using drone communication relay involves restrictions of payload and battery power, as well as wear of drone parts and destruction or damage by the enemy. It is suggested that a drone fleet

of substantial quantity and drone communications facilities are established in advance to meet the need for battlefield communications backup resilience. Finally, Taiwan should establish communications data link with our allies and use the inbuilt communications links of our drones and those of our allies as the base for building joint operation pictures.

Keywords: Drone communication relay, battlefield communications support, command, control, communications resilience, drone communications security

我國無人機軍事運用現況與未來發展

陳柏宏

國防戰略與資源研究所

壹、前言

2016 年 10 月，美國海軍以三架 F/A-18 超級大黃蜂戰鬥機部署了 103 架 Perdix 微型無人機，[1]2020 年亞美尼亞與亞塞拜然的「納—卡戰爭」暴露了無分層防空作為下，地面部隊的脆弱性。[2]面對未來的戰爭，無人機已是重要的戰具之一。

本文爬梳我國現有及將籌獲之各型無人機進行分析，並比較專文所整理之臺澎防衛作戰想定下我國的無人機需求，以建議未來我國無人機發展的方向，並提出如「匿蹤構型無人機」等較為前瞻性的思考，以利我國未來自製或外購無人機時，能合乎作戰需求外，並減少成本，避免浪費。

貳、我國無人機軍事運用與部署狀況

目前國軍（含海巡署）除將引進之 MQ-9 外，其餘所操作、試驗之無人機，全數皆為自製。

一、紅雀 II 型無人機

紅雀 II 無人機為中科院由紅雀微型無人機改良發展而來的小型無人機，具備更大的酬載量、並有數位資料鏈及自動追蹤天線系

[1] Tim Wright, "Drones Swarm Like Gnats in Navy Video," *Smithsonian,* January 17, 2017, https://www.smithsonianmag.com/air-space-magazine/navy-tests-swarming-drones-180961802/.

[2] 陳柏宏，〈從外高加索兩國衝突中無人機角色反思我防空系統現狀〉，《國防安全即時評析》，2020 年 10 月 21 日，https://indsr.org.tw/tw/News_detail/3253/%E5%BE%9E%E5%A4%96%E9%AB%98%E5%8A%A0%E7%B4%A2%E5%85%A9%E5%9C%8B%E8%A1%9D%E7%AA%81%E4%B8%AD%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E8%A7%92%E8%89%B2%E5%8F%8D%E6%80%9D%E6%88%91%E9%98%B2%E7%A9%BA%E7%B3%BB%E7%B5%B1%E7%8F%BE%E7%8B%80。

統，能以手擲、彈射等方式起飛，以傘降方式回收，無需使用跑道，並能迅速拆解組裝以便攜行。[3]紅雀 II 用以支援及強化小型部隊之偵蒐及日、夜間的目標獲得，除能獲得即時目標精確位置外，也能追蹤目標動向，並與迫砲射擊指揮結合，以觀測彈著與即時修正，提高攻擊成效。另國防部指出，紅雀 II 符合戰場偵察任務需求，在聯合作戰的想定下應能跨軍種運用，未來或可見紅雀 II 型或改良型小型戰術無人機投入多軍種服役。[4]

二、銳鳶無人機

銳鳶無人機為中科院所設計生產的中型無人機系統，屬 III 級無人機。銳鳶無人機其機體採用複合材料與模組化設計，可大部分解後裝入運輸箱便於機動部署；除使用傳統的跑道起降外，也能在艦艇上利用彈射器與攔截網來進行發射與回收；銳鳶特性為快速部署與可長時間（操作時間可達 10 小時）滯空偵巡。[5]2017 年海軍曾使用銳鳶在我東部外海偵獲解放軍電子偵察艦，並回傳可識別的即時影像。[6]

三、劍翔無人機

劍翔無人機為自主研發之反輻射無人機，此類武器也稱為自殺無人機（Suicide/Kamikaze Drone），依其飛行模式亦稱為徘徊式械彈（loitering munition，或遊蕩彈藥），劍翔發射後會依預設的飛行路線巡航，並對雷達的輻射源進行搜索，一旦鎖定，將以近垂直的終

---

[3] 〈紅雀二型無人機系統〉，《國家中山科學研究院》，https://www.ncsist.org.tw/csistdup/products/product.aspx?product_id=277&catalog=41。

[4] 〈跨軍種聯合運用 陸軍將設紅雀無人機訓練班隊〉，《Newtalk 新聞》，2019 年 4 月 19 日，https://newtalk.tw/news/view/2019-04-19/235595。

[5] 〈中型中翔無人機〉，《國家中山科學研究院》，https://www.ncsist.org.tw/csistdup/products/product.aspx?product_Id=20&catalog=56。

[6] 王炯華，〈好勇！銳鳶無人機穿越中國北極星電偵艦上空 拍攝影像傳回戰情中心〉，《蘋果新聞網》，2019 年 1 月 24 日，https://tw.appledaily.com/politics/20190124/KSKSOIQB4IAMRIUE5YQI67GONQ/。

端俯衝對目標進行攻擊。劍翔無人機將擔任防空壓制作戰任務（Suppression of Enemy Air Defenses，SEAD），以敵人的海、陸基雷達為目標，使敵人防空系統失能。[7][8]

四、騰雲無人機

中科院騰雲無人機為我國自主設計建造的大型無人機，屬 V 級大型無人機系統，目前在「實驗性服役」，[9]未來強化動力系統後或許可以掛載飛彈，從偵蒐型的無人機，搖身一變成為偵打一體的無人機。[10]

五、MQ-9B「海上衛士」無人機

依國防部於立院的答詢顯示，我國近期將可獲得海上衛士無人機（MQ-9B Sea Guardian）。[11]MQ-9B 為目前美國最廣泛使用的無人機，與我國騰雲無人機皆屬第 V 級的大型無人機系統。由於反恐戰爭的需求，MQ-9 憑藉著長時間滯空的特性，搭配能在高空拍攝清晰影像的強大光學鏡頭與極富彈性的酬載配置，使其可執行各種任務。因其採雙波段控制導引，可大幅提升我情監偵距離與遠距打擊能力。[12]

六、海巡署 AXH-E230RS 無人直升機

---

[7] 〈劍翔無人機及發射載具亮相 6 年生產 104 架〉，《三立新聞網》，2019 年 8 月 15 日，https://www.setn.com/News.aspx?NewsID=586264。

[8] 康曉嵐，〈無人飛行載具在防衛作戰運用的探討〉，《戰略與評估》，第 11 卷第 1 期，2021 年 6 月，頁 86。

[9] 〈新式騰雲無人機現身台東 外觀極似美軍 MQ-9〉，《自由時報》，2020 年 11 月 5 日，https://news.ltn.com.tw/news/politics/breakingnews/3343039。

[10] David Axe, "Coming Soon: Killer Drones from Taiwan (That China Will Hate)?," *The National Interest,* May 29, 2019, https://nationalinterest.org/blog/buzz/coming-soon-killer-drones-taiwan-china-will-hate-59967.

[11] 游凱翔，〈美國售台 MQ-9B 無人機 軍方：111 年 3 月前獲發價書〉，《中央通訊社》，2021 年 12 月 22 日，https://www.cna.com.tw/news/firstnews/202112220218.aspx。

[12] 朱明，〈【監偵範圍300km↑】空軍採購 MQ-9B 無人機 美方將客製衛星遙控系統〉，《上報》，2020 年 9 月 10 日，https://www.upmedia.mg/news_info.php?Type=1&SerialNo=95574。

海巡署所操作的 AXH-E230RS 無人機是直升機型的無人機，在 2018 年 3 月間由田屋科技、神通科技與仲碩科技共同研發得標，一共採購了 20 架。[13]此型無人機載台為田屋科技所生產的AXH-E230，搭配「雙光鏡頭」（彩色攝影機與紅外線夜視鏡頭）；海巡署立案的需求是在半徑 30 公里範圍內操作的多功能無人機（監偵、救災）；屬於 II 級無人機。美國海岸防衛隊將無人機發展策略則概分為三個層次，最低層次的短程無人機系統（Short-Range UAS）為操作高度在 120 公尺以下，「單人可操作的」多軸旋翼無人機。時介於 20 至 30 分鐘之間，而中高層次的無人機，則以掃描鷹（Scan Eagle）和 MQ-9 來做為骨幹，[14]未來海巡面對艦載延伸距離或經濟海域外界線（200 浬）的需求，可以規劃納入籌建參考。

七、戰術型近程無人飛行載具

「戰術型近程無人飛行載具」現已完成原型機並進入測評階段，據媒體指出，該款無人機係以海巡署的 AHX-E230RS 無人直升機為基礎，進行性能提升並依作戰需求研改，[15]為可垂直起降、具備情監偵能力並可即時回傳影像的小型無人機系統。

參、臺澎防衛作戰想定中現役無人機的角色

目前我國整體防衛構想下可分為「戰力防護、濱海決勝、灘岸殲敵」等三個作戰階段[16]，以下將針對不同作戰階段的分類，探討目前我國無人機在臺澎防衛作戰想定中，所占的角色。[17]

---

[13] 〈海巡署 1.2 億買無人機 掌控半徑 30 公里海域可自動返航〉，《ETtoday 新聞雲》，2018 年 7 月 17 日，https://www.ettoday.net/news/20180717/1211277.htm。

[14] United States Coast Guard, "Unmanned Aircraft Systems," https://www.dcms.uscg.mil/Our-Organization/Assistant-Commandant-for-Acquisitions-CG-9/Programs/Air-Programs/UAS/.

[15] 朱明，〈陸軍戰術型近程無人直升機 未考量區域環境與維修複雜度〉，《上報》，2020 年 10 月 2 日，https://www.upmedia.mg/news_info.php?SerialNo=97030&Type=1。

[16] 游凱翔，〈國防部：整體防衛構想經嚴格驗證 並未改變〉，《中央通訊社》，2021 年 7 月 4 日，https://www.cna.com.tw/news/aipl/202107040185.aspx。

[17] 康曉嵐，〈無人飛行載具在防衛作戰運用的探討〉，頁 91-98。

一、戰力防護階段

戰力防護階段是指在中共攻臺作戰初期，會針對我國指管系統進行癱瘓，因此如何藉由各種手段來保存戰力，有效進行損害控制，就非常重要。戰力防護階段為貫穿作戰全程的帶狀區塊，因此，我國能保有無人載具的自製維修能量就非常重要。戰力防護階段所需的無人機包括微、小型、戰術型、反輻射與運輸型等四類。[18]檢視目前我國已有之無人機，紅雀 II 為戰術偵蒐小型無人機；而戰術型無人機則有銳鳶與騰雲，騰雲無人機可供巡弋監視周邊海域，尤以外離島在該作戰全程採「獨立固守」之作戰方式，須有獨立獲取即時現場影像的情監偵能力，可強化外離島在目標獲取方面的能力。[19]反輻射型亦有中科院所發展的「劍翔」可供使用。目前我國現役的無人機中，則並無「運輸型」的無人機。

二、濱海決勝階段

由於濱海決勝階段空中兵力與岸置火力涵蓋範圍決定了決戰海域，為求有效擊敵於半渡，奪取局部制空、制海權，可考慮發展以下四種無人機構型：匿蹤長航程無人攻擊機、大型自殺無人攻擊機、反輻射型無人機、無人空中加油機。[20]

匿蹤無人機係為提高無人機在高威脅作戰環境下的存活率所設計，大型自殺無人機則為摧毀敵高價值艦艇所需，小型無人機酬載有限，無法癱瘓敵方高價艦艇，但從「劍翔」無人機的性能來看，若能藉由反輻射的特性攻擊敵方艦艇雷達、通訊系統，也能有效癱瘓敵方高價艦艇的部分戰力，再運用我空中兵力或岸置火力給予最後一擊。無人空中加油機則可在該作戰階段以空中加油的方式讓我

[18] 康曉嵐，〈無人飛行載具在防衛作戰運用的探討〉，頁 92-93。
[19] 洪哲政，〈陸軍蜂眼雷達移防東沙，反制共軍無人機與直升機〉，《聯合新聞網》，2020 年 11 月 1 日，https://udn.com/news/story/10930/4979821。
[20] 康曉嵐，〈無人飛行載具在防衛作戰運用的探討〉，頁 94-96。

空中兵力延長滯空時間，甚至可優先搶佔有利戰術位置。

由此看來，大型自殺無人機的角色亦可由搭載反艦、反輻射飛彈的戰術型無人機來取代，而我國騰雲無人機與美國所售之 MQ-9B 無人機皆有掛載武器的能力，[21]未來在戰術運用上亦可靈活調配。

三、灘岸殲敵階段

由於共軍在發展兩棲登陸載具，並將之用於作戰的比例提升，未來在其登陸階段的重心，將由對水際灘頭的爭奪轉變為對我重要目標的縱深打擊。[22]在此作戰階段，我國可發展的無人機系統包括短程偵察型無人機、小型自殺無人機、誘餌機等無人機。目前在陸軍已有「戰術型近程無人飛行載具」的建案，可充實其戰術偵蒐能力，且該款無人機係垂直起降的直升機，不須跑道即可起飛，也增加了野戰的運用彈性。

在 2020 年底的「納—卡戰爭」中，亞塞拜然對亞美尼亞的步兵以無人機進行攻擊，在沒有野戰防空的保護下，亞美尼亞步兵因對小型自殺無人機（或大型無人機的空投彈藥）幾無防禦能力，無法組織有效的反擊。我國現已有小型無人機可供操作，這個思維可供參考，亦能發展國產無人機的運用彈性。

肆、我國的無人機發展的未來展望

綜上所述，我國現役無人機已涵蓋部分未來臺澎防衛作戰場景所需，但在運輸型無人機、匿蹤構型無人機、戰術型通訊中繼與誘餌機這四類型的無人機上，可再思發展方向與前景。

---

[21] Defense Security Cooperation Agency, “TAIPEI ECONOMIC AND CULTURAL REPRESENTATIVE OFFICE IN THE UNITED STATES (TECRO) – MQ-9B REMOTELY PILOTED AIRCRAFT.”

[22] 呂兆祥，〈中共對臺軍事武力發展對我防衛作戰之影響〉，《國防雜誌》，第 30 卷第 4 期，2015 年 7 月，頁 83。

一、運輸型無人機

從世界的潮流來看，亞馬遜的執行長貝佐斯早在 2013 年底即宣布要投入無人機送貨業務的發展，並於 2016 年首次測試成功，並已獲美國聯邦航空總署（Federal Aviation Administration，FAA）核准《Part 135 許可證》飛行執照，意味著無人機的應用服務再次有技術上的突破之外也通過了嚴謹的法規認證。在軍事上的應用，除了運輸彈藥、燃料、補給品之外，也能避免交通線遭截斷的問題，更能在人員有限的情況下，將人力資源作更有效的運用，減少後勤兵力不足可能面臨的困擾，值得我軍納入建軍規畫參考。

二、匿蹤構型無人機

臺澎防衛作戰一旦開始，臺海空域即成為高威脅的戰場環境。現有無人機構型多為傳統定翼機構型，在高威脅環境下存活率堪憂，我國雖無匿蹤無人機，但在前瞻性的通盤考量下，軍種可委託中科院或民間進行相關研究，以儲備未來技術能量，期能發展出高威脅環境下仍能存活的無人機，為友軍提供火力引導，甚至能搭配武器逕行對目標發起攻擊。

三、戰術通訊型

在貫穿作戰全程的戰力防護階段，電力設備等基礎設施可能遭到破壞，且固定式雷達站等資通設備亦為敵方鎖定的優先目標，為維持情監偵與通信指管的能力，戰術通訊型的無人飛行載具有其重要性。不同於一般所想像的類似飛機式的通訊中繼基地，這樣的無人通訊節點，可以是繫留式的垂直起降無人載具，透過有線的電源供應與內置的充電電池，搭配發電機或一般電源，即可長時滯空提供通訊中繼等功能，在面對可能的火力威脅時，亦能藉由改變留滯高度或是降落至掩體內，轉移變換陣地再次升空，有機動性與運用

彈性，更能在國家遭遇大型天然災害時充任基地臺的角色，應用範圍極廣。

四、誘餌式無人機

目前解放軍已有類似以色列「哈比」無人機的徘徊式械彈系統，我方亦可思考發展誘餌式無人機，除可吸引敵自殺無人機、消耗敵方彈藥，讓對方機群或防空系統位置暴露，再引導防空與對地火力擊殺。在「納—卡戰爭」中，亞塞拜然便使用改裝的 An-2 無人機，來誘導亞美尼亞防空單位開火，再由偵打一體無人機，對暴露的防空陣地進行攻擊，削弱其防空戰力。[23]我國因 T-5 勇鷹高教機的換裝，將有一批 F-5E 戰鬥機退役，可思考將其改裝為無人機，以達更大的效益。

伍、結語

在面對少子化的社會環境，如何充分發展及運用無人機等無人系統，並將人力作最有效的運用及減少人員的折損，以「低成本、零傷亡、高作戰效率」的創新思維面對未來的衝突，相關無人載具的應用技術值得持續發展。

我國在無人機產業這一塊，已有足夠的能量進行研發與生產，像機身結構的複合材料、自動控制系統、飛航電腦等關鍵裝備，我國皆有相當完整的產業聚落和供應鏈。目前美國陸軍在下一代「未來戰術無人機系統」（Future Tactical Unmanned Aircraft System，FTUAS）的最後甄選中，針對航程與起降方式的兩難上（定翼機航程較長、旋翼機能垂直起降），四家決標廠商中有三家使用「多軸—定翼混合式構型」的無人機作為解決方案，[24]而我國目前已有廠商有

[23] 同註 2。

[24] PEO Aviation, “Future Tactical Unmanned Aircraft System (FTUAS),” *U.S. Army,* September 25, 2020, https://www.army.mil/article/239411/future_tactical_unmanned_aircraft_system_ftuas.

能力向國外輸出多軸—定翼混合構型的無人機，可見我國未來無人機的「國機國造」應為可行的選項。軍方在採購相關設備的時候，應可將無人系統納入未來戰場情境，相信能有更多有創意的解決途徑，也能讓科技島的本土產業，落實紮根在軍中，軍民互利。

本文作者陳柏宏為淡江大學國際事務與戰略研究所碩士，現為財團法人國防安全研究院國防戰略與資源研究所政策分析員，主要研究領域為先進戰鬥系統、無人機應用、資訊作戰、認知作戰。

Taiwan's Drone Military Use Current Situation and Future Development

Po-Hung Chen

Policy Analyst

Abstract

This article analyzes the performance and use status of the drones including Cardinal, Albatross, Jianxiang, Tengyun, and AXH-E230RS being operated or tested by Taiwan's military under the policy of "domestic manufacture of arms". It also provides suggestions for considerations when acquiring drones and improvement directions in drone manufacturing. In order to reduce losses on our side, increase combat effectiveness and avoid death and injury of high-value personnel, it is important to discuss how drones can be used to increase combat superiority and agility to meet the challenges of the future battlefield and also discuss the conditions and application methods needed by drone types to be suited to Taiwan's environment and strategy.

Taiwan's drone industry has built up substantial capability and has export ability; the drones that are designed also meet Taiwan's needs in terms of automation and operating simplicity. When procuring related equipment and considering future battlefield scenarios, local industry can be considered by the military for the mutual benefit of people and the military.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, drone, indigenous fighter plane production, Taiwan's defense industry, asymmetrical warfare, Taiwan and Penghu defensive operations

無人航空載具在台灣國土防衛作戰運用之探討

許智翔

中共政軍與作戰概念研究所

壹、前言

近年，無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）在各地衝突戰事中，展現高度作戰價值與運用彈性，成為地面戰中最受矚目的系統。而 UAV 為首的無人載具，更是各國競相發展的關鍵裝備。

從發展趨勢來看，一旦進入台灣國土防衛作戰，不僅對手將大量投入 UAV、成為國軍重大威脅，更是我國用以不對稱作戰利器，尤其小型無人機的運用，對需維持與強化備援的通聯、城鎮戰關鍵之戰場覺知，及不對稱打擊等能力來說，具備高度運用潛力。

貳、UAV 的戰場運用潛力

UAV 種類甚多，從翼展如波音 737 般的 RQ-4「全球之鷹」（Global Hawk）到小至前線基層部隊用，僅長 10 公分、重 16 克的「黑黃蜂」（Black Hornet）等，有各種不同之定位，地面部隊則以運用中小型機種為主。現代 UAV 地面戰運用可追溯至 1950-60 年代，各國陸軍透過 UAV 協助長程火力運用；此時期無人機或衍生自靶機（如美國陸軍 MQM-57），或專門設計以火箭推進、高速穿透華約野戰防空的機種（如加拿大與英德研發之 CL-89）。

無人系統未來地面戰角色，可由美國陸軍 2017 年制定之《機器人與自主系統戰略》（*The U.S. Army Robotic and Autonomous Systems Strategy*）中略窺一二。美軍認為，機器人與自主系統（Robotic and Autonomous Systems, RAS）能協助應對：（一）對手行動速度與對抗

距離增加；（二）對手增加 RAS 運用；（三）稠密都市環境擁塞導致之通信問題等三大挑戰。為應對前述挑戰，包含地面與空中等 RAS 之發展與運用方向為：（一）增進戰場覺知（situation awareness），可協助廣大地域「情監偵」（Intelligence, Surveillance, Reconnaissance, ISR）、進入有人系統無法到達之處；（二）減輕士兵體力與認知負擔、協助指揮官掌握大量資訊與決策；（三）增加分布、運量與效率，強化後勤維持部隊；（四）促進部隊機動；（五）在威脅環境下保護部隊。[1]

回顧近年戰例則可大致歸納UAV 地面戰運用為以下方面：

一、情監偵

ISR 為軍用 UAV 自實用化開始至今的主要用途。在近年戰例中，單以「納戈爾諾—卡拉巴赫」（Nagorno-Karabakh，以下簡稱「納-卡」）戰事來看，亞塞拜然就擁有大量以色列ISR 無人機如「赫耳墨斯 450」（Hermes 450）等。[2]UAV 能有效強化戰場覺知、長時間監偵，將掌握範圍向外推展，使作戰時能取得先機。

此外，非國家武裝團體如「伊斯蘭國」（ISIS）等，亦將民用小型多軸 UAV（如中國大疆 DJI）大量運用在作戰上，儘管非專業高性能機種（如西方多國部隊新採用的 Parrot Anafi USA），也能提供一定 ISR 能力。小型 UAV 十分適用於摩蘇爾（Mosul）等地之城鎮戰環境：交戰距離短讓飛手不僅容易識別目標，更能隱蔽在建物內、難與平民區別；ISIS 運用 UAV 進行「情報偵蒐與目標獲取」（Intelligence, Surveillance, Target acquisition, Reconnaissance,

[1] "The U.S. Army Robotic and Autonomous Systems Strategy," *U.S. Army,* March 2017, pp.1-2, https://mronline.org/wp-content/uploads/2018/02/RAS_Strategy.pdf.

[2] 「納-卡」衝突期間，亞塞拜然部隊使用的UAV從小型到大型均有，也配備了如「哈洛普」等高性能反輻射自殺無人機，主要購自以色列及土耳其兩國。資料來源：Dan Gettinger, "The Drone Databook," *The Center for the Study of the Drone at Bard College,* September 2019, https://dronecenter.bard.edu/projects/drone-proliferation/databook/.

ISTAR）等工作、協調自殺攻擊將傷亡最大化，甚至可裝載爆裂物攻擊。[3]

二、用以投射火力攻擊

近年在各地武裝衝突中，以 UAV 發動攻擊已成為常態，「納—卡」戰爭中，亞塞拜然的無人機群甚至能獵殺防空系統，顯見在缺乏有效對抗手段之下，地面部隊面對無人機時的脆弱性。綜觀諸多戰事，UAV 的攻擊可大致歸納如下：

（一）以商售或土造之小型機種進行攻擊：此作法同樣廣泛見於非國家武裝團體。商售機種經改造後，可投放槍榴彈等爆裂物進行炸射，其攻擊對象不僅是人員等軟性目標、也包含重裝備；2017 年就曾出現 ISIS 運用小型 UAV 攻擊伊拉克 M1A1 主戰車、殺傷打開頂門的戰車長的影片；[4]裝載爆裂物後，更成為簡易徘徊式械彈（Loitering Munition）。[5]這些組織更曾運用一定數量 UAV 發動集群（swarm）襲擊，迫使盟軍部隊改變位置、甚或逼使盟軍撤退。[6]

（二）偵打一體無人機精準打擊地面部隊，[7]除了反恐戰爭中常見、狙擊恐怖份子首腦的美軍 MQ-9「死神」（Reaper）無人機，其他國家生產的機種如土耳其製「旗手式 TB-2」（Bayraktar TB-2）、中國「翼龍 II」（Wing Loong II）、「彩虹-4」（CH-4）等機種均十分活躍，其中尤以土耳其「TB-2」的輝煌戰果最受矚目。「TB-2」在敘利

---

[3] Serkan Balkan, "Daesh's Drone Strategy: Technology and the Rise of Innovative Terrorism," *SETA foundation*, 2017, p.23, https://setav.org/en/assets/uploads/2017/08/Report88.pdf.

[4] Tyler Rogoway, "ISIS Drone Dropping Bomblet on Abrams Tank Is A Sign Of What's to Come," *The Drive*, January 26, 2017, https://www.thedrive.com/the-war-zone/7155/isis-drone-dropping-bomblet-on-abrams-tank-is-a-sign-of-whats-to-come.

[5] 又常譯為「遊蕩彈藥」、自殺無人機（Suicide Drone），或「神風無人機」（Kamikaze Drone）等不同名稱。

[6] Kerry Chávez and Dr. Ori Swed, "Off the Shelf: The Violent Nonstate Actor Drone Threat," *Air & Space Power Journal*, 2020, p.33, https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Volume-34_Issue-3/F-Chavez_Swed.pdf.

[7] 「偵打一體」意指能進行 ISR、也能裝載武裝進行攻擊任務。目前各國武裝無人機多攜帶反戰車飛彈（如美製 AGM-114「地獄火」）或同級精準武器、雷射導引炸彈，而美軍更曾在 2020 年時完成透過練路讓 MQ-9 無人機發射 AIM-9X「響尾蛇」飛彈擊落靶機的測試，顯示 UAV 在作戰任務上的潛力。

亞、利比亞與「納-卡」等地，擊毀各式地面裝備。

（三）徘徊式械彈：在「納—卡」戰事中，亞塞拜然大量運用以色列製徘徊式械彈；在這場衝突中，由於雙方空軍均不具規模，這些可由車輛發射的徘徊式械彈，與偵打一體 UAV 成為另類「空軍」。亞塞拜然運用之徘徊式械彈種類甚多，知名的「哈洛普」（Harop）反輻射無人機主要用於壓制防空單位，其餘如「Orbiter」或「SkyStriker」等不同系列，則有各種用於攻擊人員、輕型車輛、裝甲車輛、建築等不同目標的型號。徘徊式械彈本質類似巡弋飛彈，但可在戰場上長時間來回尋找目標，因此可以發揮一定壓制效果，更能隨時取消攻擊甚至回收，[8]是極具靈活性的武器系統。

前述攻擊方式對於大國地面部隊同樣具備高度威脅。美國國會在 2021 財年國防政策法案中，要求美軍強化反無人機能力，並能對抗大型無人機，[9]更要求陸軍為作戰車輛（如 M1 主戰車、M2 步兵戰鬥車等）配備能對抗 UAV 的保護系統；[10]德軍智庫亦表示，目前德國陸軍不再具備野戰防空能力，無法對抗「納—卡」戰場無人機。[11]

三、作為誘餌

「納—卡」戰事中 UAV 也曾用作誘餌，亞塞拜然將老舊俄製 AN-2 雙翼運輸機改裝為無人機、引誘防空系統開火，協助反輻射 UAV 或偵打一體 UAV 加以獵殺，[12]一定程度上可說是西方研發、配

[8] Seth J. Frantzman, "Israeli Drones in Azerbaijan Raise Questions on Use in the Battlefield," *Jerusalem Post*, October 1, 2020, https://www.jpost.com/middle-east/israeli-drones-in-azerbaijan-raise-questions-on-use-in-the-battlefied-644161.

[9] Matthew Cox, "Congress Wants to Beef Up Army Effort to Develop Counter-Drone Weapons," *Military.com*, December 11, 2020, https://www.military.com/daily-news/2020/12/11/congress-wants-beef-army-effort-develop-counter-drone-weapons.html.

[10] Jen Judson, "Lawmakers Want Answers on US Army Plans to Protect Vehicles from Drones," *Defense News*, July 29, 2021, https://www.defensenews.com/land/2021/07/28/lawmakers-want-answers-on-us-army-plans-to-outfit-vehicles-with-drone-protection/.

[11] "Analyse: Deutschland schwach bei Drohnenabwehr," *Deutsche Welle*, June 13, 2021, https://www.dw.com/de/bundeswehr-deutschland-schwach-drohnenabwehr/a-57873781.

[12] Jacob Brahms, "Azerbaijan Reportedly Convert Ancient AN-2 Biplanes into Drones," *Overt Defense*, October 5, 2020, https://www.overtdefense.com/2020/10/05/azerbaijan-reportedly-convert-ancient-an-2-biplanes-into-drones/.

備的先進空射誘餌的簡易型式。[13]

四、宣傳戰運用

亞塞拜然武裝 UAV 在發動攻擊時，同時在網路上傳播大量摧毀亞美尼亞部隊的影像，展示 UAV 的戰場多功能性；[14]而土耳其在敘利亞內戰中，以電戰手段穿透俄製防空系統同時，網路上則出現俄製先進「鎧甲」（Pantsir）彈砲合一機動防空系統遭擊毀的影片等，顯示其宣傳戰價值。

類似作為也見於非國家武裝團體，這些組織運用小型 UAV 作戰時，也藉網路散布攻擊影片、發動宣傳攻勢製造恐怖，前述商售小型機種攻擊方式，多可藉大量網路短片加以觀察分析。

參、國土防衛作戰中的 UAV 運用

透過我國國土防衛作戰的構想與戰場環境，可粗略歸納 UAV 在國土防衛中的可能角色如下：

一、無海空優勢狀態下仍可運用中小型機種

從我國近年防衛概念來看，不論「灘岸殲敵」或「聯合國土防衛」，均明白顯示台灣海空戰力在當下已消耗、減損相當大之程度。這意味地面部隊將對抗海空實力佔優的入侵部隊，當面對大型 ISR 與偵打一體 UAV 時，難以期待有足夠空軍實力掩護。

在此作戰階段，國軍大型 UAV 若未具匿蹤能力，在失去海空優勢情況下可能更難以生存，但中小型無人機仍是地面部隊可以運用、賴以掌握維持 ISR 及狀況覺知等能力之關鍵，甚至發揮「窮人

[13] 如美軍已服役、且持續進行改良升級的 ADM-160「小型空射誘餌」（Miniature Air-Launched Decoy）系列。

[14] Shaan Shaikh and Wes Rumbaugh, "The Air and Missile War in Nagorno-Karabakh: Lessons for the Future of Strike and Defense," *CSIS*, December 8, 2020, https://www.csis.org/analysis/air-and-missile-war-nagorno-karabakh-lessons-future-strike-and-defense.

空軍」的角色，攻擊入侵部隊、壓制防空，及做為誘餌掩護殘存空中兵力等。

二、現代城鎮戰與複雜地形作戰中的關鍵力量

對入侵方而言，進攻台灣不僅需橫越海峽，本島西部灘岸緊鄰城鎮及都會區，並連接淺山丘陵、以及中央高山峻嶺；複雜地形增加入侵準備難度，也是防衛作戰利基。其中西部高度都市化更是關鍵要素。

台灣西部沿岸大小城鎮綿延，北中南都有百萬人級巨大城市；而台灣北部有接近一半人口居住，政經中樞的台北周邊更可將人口達 900 餘萬、緊密相連的「北北基桃」生活圈，[15]視為準「巨型都市」(Megacity)。[16]換言之，敵人將同時面對登陸戰與城鎮戰，並需克服巨型都市作戰環境、才能奪取政經中樞。

城鎮戰一般被形容成如海綿吸附水份般、需投入大量部隊。然而，就美國在伊拉克的經驗而言，是否必須投入極大量的部隊至都市作戰，仍看交戰雙方能力、目標及作戰時間等因素而定；藉由大規模ISR、聯合兵種機動、精確打擊能力以及透過建立城牆障礙物的方式，小規模的美軍仍能有效的完成百萬人級都市的作戰任務。[17]

整體而言，城鎮地形會限制機動力、削弱ISR、嚴重限制空中及長程打擊能力；這是因為守方隱蔽能力遠高於攻方，而大量各式現代鋼筋混凝土建築，本身不僅具備相當防禦能力，也使部隊在缺乏能破壞並快速穿越建物的裝備下，大幅降低機動性。然而，現代武

[15] 根據內政部戶政司資料，至 2021 年 12 月，北北基桃人口共計 9,168,874 人。資料來源：〈人口統計資料〉，中華民國內政部戶政司全球資訊網，https://www.ris.gov.tw/app/portal/346。

[16] 依聯合國經濟暨社會理事會（Department of Economic and Social Affairs, United Nations）的定義，巨型都市的定義為人口超過千萬的都市，就北北基桃的人口而言已十分接近，如加上新竹人口，則已經達到前述之巨型都市定義。

[17] John Spencer, "Stealing the Enemy's Urban Advantage: The Battle of Sadr City," *Modern War Institute at West Point*, January 31, 2019, https://mwi.usma.edu/stealing-enemys-urban-advantage-battle-sadr-city/.

裝部隊的規模大幅縮小，與現代都市規模遠大於過往的環境，使城鎮戰中機動能力更顯重要；現代都市中遍布高樓、不同寬度街道，地下設施如下水道、停車場等設施，使現代城鎮戰成為需要高度專業的戰場，而無人載具正有應對此環境的潛力。[18]

就台灣國土防衛作戰面而言，要達到類似美軍在伊拉克等地賴以克服城鎮戰困難的關鍵 ISR 能力，可透過基層部隊大量運用中小型 UAV 的方式進行；事實上，由於近年精準武器射程逐漸增加、台灣地面部隊也籌獲長程打擊武器的狀況下，以 UAV 所具備的長距離 ISR 能力輔助作戰，對於防衛作戰中的早期階段，扮演極高重要性。而 UAV 所獲影像在國土防衛作戰當下，將可透過網路等媒介發動宣傳戰。

除此之外，由於台灣在科技領域上具備一定優勢，因此相關民間技術的發展，也同樣是國軍在發展相關能力時、可以借鏡的對象，如 2019 年時中華電信就曾與雷虎科技合作推出「防救災行動通訊空中基地台」，[19]這在通訊困難的現代水泥叢林與各種複雜環境中的運用潛力，就十分值得國軍參考。

三、「不對稱攻擊」能力

前述各地戰例中可以注意到 UAV 的攻擊角色逐漸受到矚目，除了偵打一體無人機外，以徘徊式械彈及小型 UAV 發動攻擊等方式，能成為新式不對稱攻擊能力，從「灘岸殲敵」階段開始、對敵方入侵部隊發動精準打擊；這種精準打擊方式，在對抗高度機械化的共軍兩棲部隊而言十分重要。

徘徊式械彈能裝載在各種輕型車輛，甚至 UAV 及無人地面載具

[18] John Spencer, "The Eight Rules of Urban Warfare and Why We Must Work to Change Them," *Modern War Institute at West Point*, January 12, 2021, https://mwi.usma.edu/the-eight-rules-of-urban-warfare-and-why-we-must-work-to-change-them/.

[19] 林宗輝，〈【無人機國家隊 2】雷虎聯手中華電信打造空中基地台〉，《財訊》，2021 年 4 月 19 日，https://www.wealth.com.tw/home/articles/31175。

（Unmanned Ground Vehicle）整合運用，這讓輕裝守備單位在現有載台基礎上、能大幅加強精準打擊能力，更為缺乏海空優的情況下發動空中精準打擊的重要方式；事實上，中國也已將「CH-901 巡飛彈」整合於「猛士」車上，可能成為台灣地面部隊重大威脅。

而非國家武裝團體運用小型無人機投射爆裂物發動攻擊的方式，各國也進行過相關研發嘗試，例如我國 205 廠就曾嘗試將 T91 步槍與 40 公厘榴彈發射器整合到無人機上；[20]類似的發展概念也可在各國軍工大廠上發現，如近期挪威軍火集團 Nammo 就研發使用小型無人機發射 M72「66 火箭彈」，[21]可讓無法擊穿現代主戰車正面裝甲的 66 火箭彈，藉頂攻方式擊毀戰車、更能讓部隊在較安全的環境下與敵方車輛接戰。

肆、結語

綜觀前面的探討，UAV 為未來在國土防衛作戰的關鍵角色之一，也是國軍發展無人系統時應首先建立初步能力的部分。由於台灣方面仍缺乏相關發展，因此目前先使基層部隊廣泛使用各種中小型 UAV、取得初步 ISR 能力，並建立對應之良好通聯與鏈路，應是初期的發展重點。由於中國解放軍早已配備大量 UAV，使得反 UAV 能力的建立，也具備同等重要性。由於台灣面對中國龐大軍事壓力，後續的研發重點，或可置於各種徘徊式械彈的研發，以建立抵銷敵方優勢的不對稱打擊能力，並嘗試開始進行基礎無人地面載具研發，以分擔地面部隊有限人力資源的負擔與輔助作戰。

然而，面對 UAV 與各式無人載具之類的新型科技，重要的仍是在發展之餘，鼓勵基層官兵在運用上提出創新思維，並加以驗證，

---

[20] 〈無人機搭步槍 軍備局秀創新武器〉，《中央廣播電台》，2018 年 5 月 2 日，https://www.rti.org.tw/news/view/id/408186。

[21] Robin Hughes, "Nammo finalises drone-mounted M72 development," *Jane's Missiles & Rockets*, December 21, 2021, https://www.janes.com/defence-news/news-detail/nammo-finalises-drone-mounted-m72-development.

可能是發掘此類新式裝備戰場潛力的重要方式。如美國陸軍就針對困難的現代都會環境，鼓勵相關創意發想，因而曾出現如「(向未能撤出戰區的民眾）廣播用無人機」及一次性無人機群等概念。[22]

因此，就台灣而言，針對本身環境下的裝備發展、無人機應用與戰術戰法，鼓勵基層進行探討、研究，甚至進行軍方、學界、產業界的跨領域研究，或許也是未來的重要方向之一。

作者許智翔為德國杜賓根大學博士，現為財團法人國防安全研究院中共政軍與作戰概念研究所助理研究員。

[22] John Spencer, "A Soldier's Urban Warfare Christmas Wish List," *Modern War Institute at West Point,* November 23, 2018, https://mwi.usma.edu/soldiers-urban-warfare-christmas-wish-list/.

Discussion of the Use of Unmanned Aerial Vehicles in Taiwan's Homeland Defense Operations

Jyh-Shyang Sheu

Assistant Research Fellow

Abstract

Unmanned vehicles are a type of new equipment that various countries have been developing or purchasing in recent years. Of these, the development of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) is most mature; today, various kinds of UAV, large and small, are a key force on battlefields around the world that cannot be ignored. Armed conflict in recent years has not been high intensity battlegrounds between great powers, whether fighting in the Caucuses or Libya, with both sides lacking air power of any scale; in terms of the lessons of war-fighting and the combat environment for homeland defense, UAV are important equipment that can greatly increase combat power when Taiwan is conducting homeland defense operations. For Taiwan's homeland defense, UAV can not only effectively increase force ISR capability in complex combat environments and provide asymmetric attack capability, they also allow propaganda war to be waged by filming images. In fact, as unmanned vehicles with UAV at their head are important innovative products of modern information and communication, for this type of equipment, the putting forward and verification of innovative thinking should be encouraged to further unearth their future combat application potential to enhance Taiwan's defensive operation capabilities and force combat resilience.

Keywords: drone, homeland defense operations, beach destruction, urban warfare

無人機反制概念與系統之發展

舒孝煌、許智翔

中共政軍與作戰概念研究所

壹、前言

面對無人機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）近年在安全領域所受到之關注，與戰場上展現的能力，建立能對抗各種不同尺寸、功能無人機的能力，成為各國當務之急。整體而言，大型無人機需以完整分層防空與電戰能力對抗，而難以偵測的小型 UAV，則成為各國部隊高度防範的新形態威脅。後者的軍民兩用特性，以及商售市場上小型機種的大量擴散，更使得相關威脅並不僅存在戰時，也包括承平時期在關鍵基礎設施及要人的保護等層面上。正因建立反無人機能力的迫切性，各國紛紛投入相關概念與技術之發展；由於中國無人機的蓬勃發展，台灣實應加強相關技術研發，補足防空與電戰系統上的弱點，並強化小型 UAV 的偵測／反制技術，以面對平戰時都可能面對的威脅。

貳、無人機反制概念初探

無人機雖有多種分類方式，然依威脅與對抗之手段，則可分為中大型無人機、小型無人機兩種截然不同的威脅型態。

一、中大型無人機需完整防空與電戰能力對抗

近年各地武裝衝突的戰例中顯示，受到多個交戰方倚重的「窮人的空軍」，即偵打一體與情監偵（Intelligence, surveillance and reconnaissance, ISR）用之各式 UAV，是未來可預見的高度戰場威脅，而 2020 年外高加索的「納戈爾諾—卡拉巴赫」戰爭（Nagorno-Karabakh war，以下簡稱「納—卡」戰爭）及敘利亞、利比亞等地的

衝突，更可見偵打一體 UAV 肆虐、甚至多種不同類型的 UAV 及有人機協同作戰。就「納—卡」戰爭而言，亞美尼亞部隊遭 UAV 重創主要在於缺乏：現代化的分層防空體系、良好電戰能力、多頻譜偽裝與隱蔽能力。[1]俄羅斯國防部分析近年各戰場之實戰經驗，認為整合多層防空系統、早期預警及電戰能力，是對抗 UAV 的最有效方式。[2]

此外，近年不論「納—卡」戰爭或利比亞及敘利亞等地內戰的中，多數參戰方空軍均不具規模，而一定規模之空軍實力，也是對抗中大型 UAV 的重要手段。

二、小型無人機為非傳統之新型態安全威脅

相較之下，小型 UAV 是 ISR 及攻擊的低成本手段，也因尺寸、結構材料、飛行速度及高度，難以用傳統防空系統偵測。商售 UAV 不僅被各地非國家武裝團體在戰場上靈活運用，[3]承平時期也能造成威脅，如英國希斯洛（Heathrow）機場就曾因小型 UAV 入侵、被迫停止班機起降超過 24 小時，也因此強化反制系統。[4]

針對這種新型態威脅，美國國防部制定了《反制小型無人機系統戰略》（*Counter-Small Unmanned Aircraft Systems Strategy*），強調小型 UAV 系統（sUAS）能成為國家、非國家行為者、罪犯的強大武器，即使合法操作也會因疏失產生危害，因此為保護人員、資產及設施，需研發整體戰略應對。[5]2019 年美國國防部更指定陸軍成立

---

[1] Shaan Shaikh and Wes Rumbaugh, "The Air and Missile War in Nagorno-Karabakh: Lessons for the Future of Strike and Defense," *CSIS*, December 8, 2020, https://www.csis.org/analysis/air-and-missile-war-nagorno-karabakh-lessons-future-strike-and-defense.

[2] Samuel Bendett, "Russia's Real-World Experience Is Driving Counter-Drone Innovations," *Defense News*, May 23, 2021, https://www.defensenews.com/opinion/commentary/2021/05/23/russias-real-world-experience-is-driving-counter-drone-innovations.

[3] 相關資訊請見本特刊，許智翔助理研究員〈無人航空載具在台灣國土防衛作戰運用之探討〉一文。

[4] Varsha Saraogi, "Heathrow Airport Installs Anti-drone Technology to Detect Threats," *Airport Technology*, January 14, 2020, https://www.airport-technology.com/news/heathrow-airport-installs-anti-drone-technology-to-detect-threats/.

[5] "Pentagon's Counter Small Drone Strategy," *USNI News*, January 8, 2021,

「聯合反制小型無人機辦公室」（Joint C-sUAS Office, JCO），以領導協調相關活動，建立一套包括保護國土、盟國及部署人員、發展裝備及非裝備解決方案、擴大盟友關係之架構。[6]

美軍認為反小型 UAV 支柱有三，一是部隊戰備（Ready the Force），以風險途徑發展創新方案，側重使用通用架構的系統，評估風險及漏洞何在，針對特定情況採取適當對策。二是保衛部隊（Defend the Force），創立能防禦及對抗小型無人機的部隊，制定準則、作戰概念、建立培訓標準、完善現有訓練，並發展跨軍種聯合反 UAV 能力。三是建立團隊（Build the Team），強化公私部門在安全創新方面的合作夥伴關係，提高部隊反UAV 效能。[7]

三、無人機威脅需綜合手段反制

美國陸軍 JCO 指出反制 UAV 為「系統化系統」途徑（a system of systems approach），整合各種手段，以多層次防禦的方式對抗威脅。其中「偵測」為首要關鍵，在對抗結構脆弱、用小口徑自動武器就能擊毀的 sUAS 時更為重要；目前偵測各種 UAV 的技術包括：（一）光電、紅外線或聲音感測器；（二）雷達偵測；（三）偵測控制 UAV 之無線電訊號；由於其隱蔽性，偵測及預警需綜合運用。

目前用以擊敗 UAV 的手段則有：硬殺，如以飛彈、槍砲彈、直接能武器對抗；軟殺，如干擾無線電頻率、衛星導航系統等方式，甚至可透過類似電磁手段俘獲無人機。此外以無人機（如捕捉或攻擊）或訓練過的老鷹等，則為反制小型 UAV 也能運用之方式。[8]

這些反制手段同樣需整合運用，確保空防不會被 UAV 這種新型

https://news.usni.org/2021/01/08/pentagons-counter-small-drone-strategy.

[6] "Pentagon's Counter Small Drone Strategy," *USNI News.*

[7] "Army to Lead New DOD Strategy Against Drone Attacks," *U.S. Army,* January 11, 2021, https://www.army.mil/article/242276/?st.

[8] "Report on Pentagon Counter-Drone Weapons," *USNI News*, February 14, 2020, https://news.usni.org/2020/02/14/report-on-pentagon-counter-drone-weapons.

科技裝備滲透。美國陸軍「機動短程防空系統」（Maneuver Short-Range Air Defense, M-SHORAD）就整合機砲、機槍，甚至雷射武器；瑞典 SAAB 以舉升臂升高偵測低飛目標的「長頸鹿 AMB」（Giraffe AMB）雷達整合，也可視威脅型態不同，結合RBS-15、或MBDA 公司的 EMADS 等飛彈系統加以對抗。雷神公司（Raytheon）也提出涵蓋雷達及光電偵測，由雷射、刺針飛彈，微波（Phaser）指揮管制干擾等，標定跨頻譜威脅，並可整合多種防空系統，如刺針飛彈、鐵穹（Iron Dome）系統、挪威先進飛彈系統（NASAMS）等。

參、相關反制系統發展

由於目前已有大量系統問世，以下由部分值得關注的系統為例，簡述相關發展：[9]

一、偵測及反制技術發展

（一）固定、半固定及機動式反制系統

美軍目前研發者，包括「定置式低飛、慢速、小型無人機整合擊敗系統」（Fixed Site-Low, Slow, Small Unmanned Aircraft System Integrated Defeat System, FS-LIDS），一種結合無線射頻、雷達、光學攝影機的系統化系統；空軍「消除非國家臨時聯合空中威脅」（Negation of Improvised Non-State Joint Aerial-Threats, NINJA），也用射頻訊號阻斷 UAS 與操作者通聯、該系統可與其他軍種系統互通；海軍則有干擾訊號之「反遙控飛機整合防空網」（Counter-Remote Control Model Aircraft Integrated Air Defense Network, CORIAN）。[10]

美軍近年也投注在研發機動式動能、非動能擊殺系統。「輕型機

[9] Sydney J. Freedberg JR., "Pentagon Plans 'Plug & Play' Drone-Killing Tech," *BreakingDefense*, June 26, 2020, https://breakingdefense.com/2020/06/pentagon-plans-plug-play-drone-killing-tech/.

[10] "Army Selects Countermeasures Against Drones," *APG News*, July 8, 2020, https://apgnews.com/inside-the-innovation/army-selects-countermeasures-against-drones/.

動式防空整合系統」（Light-Mobile Air Defense Integrated System, L-MADIS），為安裝在 Polaris MRZR 全地形車上之電子攻擊系統，[11]有 360 度雷達、無線射頻干擾器、光電及紅外線感測器等，曾於 2019 年 7 月「擊落」伊朗無人機。[12]「遠征移動防空綜合系統」（X-MADIS）則將反無人機、雷達和光電／紅外線（EO/IR）設備整合在民用車上，偵測、識別、追蹤及打擊威脅機場、關鍵設施或禁航區的無人機；「CM202U」則是光學識別系統，可在白天 3 公里和夜間 2 公里範圍內提供準確無人機識別，包括是否裝置武器等。

（二）單兵操作系統

就美軍而言，特戰司令部的「套索陷阱」（Bal Chatri）、「無人機殺手」（Drone Buster）、「重擊」（SMASH）等，為目前採用或測試中之單兵系統。「套索陷阱」為以無人機用網攔截另一架無人機，類似概念也用於荷蘭的「DroneCatcher」；「無人機殺手」是手持式射頻干擾器，供部隊、保全人員使用，透過壓制操控頻率並接管無人機的無線控制鏈路。「重擊」則是小口徑武器用射控系統、內建目標演算法，追蹤目標運動、鎖定並同步射擊，可攔截極小機種，[13]德軍也正測試此系統。[14]

（三）指揮管制

反 UAV 綜合能力的建立，有賴指管系統（C2）強化，美國已推包括陸軍「前進區域防空指揮管制」（Forward Area Air Defense

[11] "US Marines Demonstrate L-MADIS Air Defense System Mounted on Polaris MRZR," *Army Recognition*, August 05, 2021, https://www.armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/us_marines_demonstrate_l-madis_air_defense_system_mounted_on_polaris_mrzr.html.

[12] "The Marines' New Drone-Killer Aces Its First Real World Test," *the Wired*, July 22, 2019, https://www.wired.com/story/iran-drone-marines-energy-weapon-lmadis/.

[13] Inder Singh Bisht, "US Marines Buy Israeli Rifle-Mounted Counter-Drone Systems," *the DefensePost*, October 5, 2021, https://www.thedefensepost.com/2021/10/05/us-marines-smash-systems/.

[14] Waldemar Geiger and André Forkert, "SMASH: Bundeswehr testet Drohnenabwehr mit Handwaffen," *Europäische Sicherheit & Technik*, September 29, 2021, https://esut.de/2021/09/meldungen/30047/smash-bundeswehr-testet-drohnenabwehr-mit-handwaffen/.

Command and Control, FAAD-C2）、陸戰隊「空防系統整合者」（Air Defense System Integrator, ADSI），以及空軍的「多重環境領域無人系統應用指揮及管制」（Multi-Environmental Domain Unmanned Systems Application Command and Control, MEDUSA C2）等系統。[15] 其中 MEDUSA 由康斯堡公司（Kongsberg）開發，可監督友軍無人機、打擊敵軍無人機。FAAD-C2 則由諾格公司（Northrop Grumman）開發，這 3 套指揮管制系統皆可互相相容。JCO 正設法建立管理反 UAV C2 系統的通用技術標準，以便未來將符合之新產品與技術「隨插即用」、整合在現有裝備中。

二、「成本」為反無人機系統發展之重要考量

（一）較低成本的反無人機方案發展

sUAS 成本低廉，而大型 UAV 也有如土耳其「TB-2」般、僅需 1 至 2 百萬美元的相對廉價機種，[16]對高價先進防空飛彈等攔截方案形成挑戰，因此降低成本為各國反 UAV 系統的重要發展方向。

以美軍而言，目前正考慮發展以其成本 1／100 的武器，如火箭彈或是槍榴彈，對抗 sUAS「本小效高」的不對稱優勢；美國陸軍也在 2021 年 9 月開標發展使用雷射而非微波的反 UAV 武器，可能正是考慮藉以減少附加成本。[17]前述槍械用之「重擊」射控系統，亦是低成本方案。

前段曾提及之美軍 M-SHORAD 為在史崔克（Stryker）八輪甲車裝置李奧納多公司（Leonardo DRS）遙控武器站，[18]使用 30 公厘

[15] Nathan Strout, "Army sSelects Eight Counter-drone Systems for the Joint Force," *C4ISR Net*, June 27, 2020, https://www.c4isrnet.com/unmanned/2020/06/26/army-selects-eight-counter-drone-systems-for-the-joint-force/.

[16] Paul Iddon, "Cheap And Combat-Tested: The Growing Market For Turkish Drones," *Forbes*, July 26, 2021, https://www.forbes.com/sites/pauliddon/2021/07/26/cheap-and-combat-tested-the-growing-market-for-turkish-drones/?sh=b68e7787ce02.

[17] Kelsey D. Atherton, "The Pentagon Wants a Bazooka that Can Take down Drones," *Popular Science*, June 2, 2021, https://www.popsci.com/technology/pentagon-anti-drone-weapon/.

[18] "Maneuver Short-Range Air Defense (M-SHORAD)," *LeonardoDRS,* https://www.leonardodrs.com/what-we-do/products-and-services/m-shorad/.

XM914 鏈砲、4 聯裝刺針飛彈、AGM114L 地獄火反戰車飛彈及 7.62 公厘同軸機槍，形成多層次、價廉火網，在極近距離對抗各種低空飛行器及 UAV。[19]

歐陸也正發展類似系統，針對 2023 年北約「高度戰備聯合特遣部隊」（Very High Readiness Joint Task Force）需求，德軍整合「拳師犬」八輪甲車（GTK Boxer）與挪威康斯堡 Protector 遙控武器站（Remote Weapon Station, RWS）、40mm 榴彈機槍，與 Hensoldt 公司 Spexer 3D 反無人機雷達，為基層機械化部隊提供反 sUAS 能力，[20]法國也正發展類似系統；[21]此外，德國萊茵金屬（Rheinmetall）的新式防砲如「天空突擊兵」（Skyranger）系列，也將反無人機作為重點項目之一。[22]

（二）以無人機對付無人機

低成本 sUAS 本身也可成為解決方案。雷神公司的「土狼」（Coyote）為低成本徘徊式械彈（Loitering Munition），可偵測 UAV 並加以撞擊或炸毀，美軍改稱此機為「咆哮者」（Howler）並進行測試。[23]「土狼」原是美國海軍在 2015 年推動的「低成本無人機集群技術」（Low-Cost UAV Swarming Technology, LOCUST），尺寸類似多管火箭或反潛機之聲納浮標，原為以集群（Swarm）概念大量發射的自動化、可返回基地回收之 ISR 機種。

---

[19] 〈強化低空防禦 美陸軍敲定 IM-SHORAD 計畫 358.3 億訂單〉，《青年日報》，2020 年 10 月 3 日，https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1270250。

[20] Thomas Wiegold, "Bundeswehr beschafft Drohnenabwehrsystem von Kongsberg," *Augen geradeaus!*, December 4, 2019, https://augengeradeaus.net/2019/12/bundeswehr-beschafft-drohnenabwehrsystem-von-kongsberg/.

[21] Jean-Marc Tanguy, "French Army Tests VAB Armed with 40 mm AGL Against UAVs," *Jane's Defence Weekly*, June 10, 2021.

[22] "Mobile Air Defence," *Rheinmetall*, last retrieved: October 20, 2021, https://rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall_defence/systems_and_products/air_defence_systems/mobile_air_defence/index.php; Paolo Valpolini, "Rheinmetall Air Defence unveils its Skyranger 30 (upgraded)," *European Defence Review*, March 3, 2021, https://www.edrmagazine.eu/rheinmetall-air-defence-unveils-its-skyranger-30.

[23] Kelsey D. Atherton, "The Coyote Swarming Drone Can Deploy for Aerial Warfare—or Hurricanes," *Pospi*, March 12, 2021, https://www.popsci.com/story/technology/navy-swarming-drones-coyote/.

類似概念還包括波音（Boeing）子公司 Aurora Flight Sciences 的「模組化攔截無人機航電設備」（Modular Intercept Drone Avionics Set, MIDAS），這種多旋翼 sUAS 以人工智慧輔助，配備光學感測器和一定酬載能力，每次飛行可以低附帶效應擊敗多個 sUAS。以色列艾爾它（ELTA Systems）的「無人機獵殺無人機」（Drone-Kill-Drone, DKD）概念，則讓 UAV 用金屬絲，在飛行中纏繞敵方 UAV 加以「絞殺」，可減少在人口稠密區擊落無人機造成的附加傷亡。

（三）雷射武器

雷射武器同樣是成本低廉的反無人機系統。以色列用於反火箭、砲彈及迫砲攻擊（Counter rocket, artillery, and mortar, C-RAM or counter-RAM）的低成本「鐵穹」（Iron Dome）系統，雖具反無人機能力，然飛彈仍達 5 萬美元，因此發展並於 2014 年展示輔助「鐵穹」、平均成本僅 1 美元的「鐵束」（Iron Beam）雷射系統。

近年雷射逐漸成為各國發展重點，前述美軍 M-SHORAD 防空系統，也配備了 5 瓩雷射對抗 sUAS、更將升級為 50 瓩，稱為「直接能機動短程防空系統」（Directed Energy-Maneuver Short-Range Air Defense, DE M-SHORAD）。[24]通用動力陸地系統（General Dynamics Land Systems, GDLS）與 Epirus 公司合作的短程機動防空系統，也將雷射裝置於史崔克上。洛克希德馬丁（Lockheed Martin）發展配有光電尋標器的先進測試高能雷射套組（Advanced Test High Energy Asset, ATHENA），可配備在重要關鍵基礎設施，其雷射由 3 個 10 瓩光束耦合而成，用於對付無人機或無人車輛。[25]另外，美國空軍也正進行「高能雷射武器系統」（HELWS）測試，海軍也將為其水面艦

[24] Jared Keller, "The Army's First Laser Weapon is Almost Ready for a Fight," *Task & Purpose*, August 12, 2021, https://taskandpurpose.com/military-tech/army-laser-weapon-stryker-combat-shoot-off/.

[25] Jaleah Dortch, "Laser Weapon Tracks and Destroys Drones in Demo with Airmen," *Defense News*, November 9, 2019, https://www.defensenews.com/unmanned/2019/11/08/laser-weapon-tracks-and-destroys-drones-in-demo-with-airmen/?utm_source=Sailthru&utm_medium=email&utm_campaign=Unmanned%2012.4.19&utm_term=Editorial%20-%20Unmanned%20Systems%20with%20C4.

配備雷射近迫武器，反制無人機、無人艇、巡弋飛彈等威脅。

其他國家也有類似發展，如德軍近短程防空計畫，就將整合防空飛彈、防砲甚至高能雷射等能力合一，[26]。土耳其也研發了 50 瓩的「ALKA」雷射系統反 UAV，並在利比亞成功擊落中共「翼龍 II」偵打一體無人機，[27]顯示相關裝備的研發並非歐美大國專利。

三、反制集群無人機

集群無人機可能會干擾基地或設施運作，即使部分故障仍可編隊飛行。中國曾在 2021 年 3 月展示，同時操作 3,281 架小型無人機的技術。若要防止載有爆炸物的無人機群造成損害，意味著要停止整個蜂群運作，而不僅是移除其中一部分。美國空軍正測試匿稱「索爾」（THOR）的「戰術高功率作戰傳輸器（Tactical High Power Operational Responder），透過高功率微波擾亂電子系統，可削弱 UAV 相互通訊的能力，亦能「燒毀」電子系統、破壞整個蜂群。整套系統置於貨櫃中，可由 C-130 運輸。[28]美國空軍也研究「反電子高功率微波增程空軍基地防空系統」（CHIMERA），以打擊中長程無人機。[29]

肆、結論

無人機的快速擴散，成為一種新興威脅，因此反制無人機不但是軍事部門的重要課題，也是政府部門必需急迫處理的議題，從各

[26] Thomas Wiegold, "Planung für die Luftverteidigung: Schwerpunkt Drohnenabwehr, Entscheidung über TLVS ,derzeit nicht im Fokus," *Augen geradeaus!*, March 23, 2021, https://augengeradeaus.net/2021/03/planung-fuer-die-luftverteidigung-schwerpunkt-drohnenabwehr-entscheidung-ueber-tlvs-derzeit-nicht-im-fokus/.

[27] Burak Ege Bekdil, "Turkey Eyes Directed-energy Weapons as Key Priority," *Defense News*, March 15, 2021, https://www.defensenews.com/industry/techwatch/2021/03/15/turkey-eyes-directed-energy-weapons-as-key-priority/.

[28] Kelsey D. Atherton, "The US Military is Testing a Microwave Anti-drone Weapon Called THOR," *Popular Science*, April 29, 2021, https://www.popsci.com/story/technology/air-force-anti-drone-technology-thor/.

[29] Theresa Hitchens, "THOR: Air Force Tests Counter-Drone Microwave In Africa," *Breaking Defense*, December 17, 2020, https://breakingdefense.com/2020/12/thor-air-force-tests-counter-drone-microwave-in-africa/.

國軍方及民間公司的相關概念與技術發展而言，可注意到其「多層次防禦」之發展方向，同時偵測sUAS及低成本反制手段、更是目前發展之關鍵。

中共已大量運用各種型式的無人機，包括超音速偵察無人機、具匿蹤外型的大型偵打一體無人機、供運輸及後勤用途的無人機、執行防空制壓或自主攻擊的無人機、甚至是以舊式戰機改裝，可當成誘餌消耗防空彈藥等，對國軍防禦作戰形成挑戰。

就台灣未來的發展方向而言，首先應嘗試發展不同形式的主、被動偵測能力，並逐漸將短中長程等各層次的防空能力逐次強化，其中目前地面作戰區的野戰防空能力，及中低空的偵測、反制手段，可能是目前發展的當務之急。在未來，則更須進一步建立各軍種的戰場共通防空圖像，並針對無人機操作特性，發展多重反制手段，除降低成本外，也增加反制成功的機率，以及在承平時期、消除 sUAS 可能造成的威脅。

本文作者舒孝煌為淡江大學國際事務與戰略研究所博士，現為財團法人國防安全研究院中共政軍與作戰概念研究所副研究員。作者許智翔為德國杜賓根大學博士，現為財團法人國防安全研究院中共政軍與作戰概念研究所助理研究員。

Anti-drone Concepts and System Development

Hsiao-huang Shu and Jyh-shyang Sheu

Associate Research Fellow and Assistant Research Fellow

Abstract

The importance of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) on the modern battlefield has been shown in conflicts in the Caucasus, the Middle East and North Africa, etc. These cases show that the side without anti-drone means can suffer serious setbacks and it may be a key factor that decides victory and defeat on the battlefield. In fact, drone systems do not only present a threat to security on the battlefield, in peacetime small drones pose a major threat to key infrastructure. In this situation, anti-drone concepts and technology are important security issues faced by many countries at present. In terms of use characteristics, there are different key points for countering large drones and small drones. The former requires enhanced layered aerial defense and electronic warfare capability, responding with complete air defense and electronic warfare. Although the latter are fragile, they are extremely hard to detect and the key to countering them lies with early warning. As the price of drones is gradually decreasing, small drones are much cheaper than air defense missiles, therefore, various low cost hard kill and soft-kill means to counter them are the focus of current development. As China is very active in the area of drone development, anti-done concepts and means are key items that should be emphasized at an early date by Taiwan and for which resources should be provided.

Keywords: drone, anti-drone, key infrastructure protection

出版說明

「財團法人國防安全研究院」設立宗旨為增進國防安全研究與分析，提供專業政策資訊與諮詢，拓展國防事務交流與合作，促進國際戰略溝通與對話。

現設有 4 個研究所，本院研究範圍涵蓋：國家安全與決策、國防戰略與政策、中共政軍、非傳統安全與軍事任務、網路作戰與資訊安全、先進科技與作戰概念、國防資源與產業、量化分析與決策推演等領域。

本刊各篇文章由本院研究人員、以及外部學者、專家撰擬，以 5,000 字以內為度，稿件均經審稿程序，其著作權為本刊所有，未經同意，請勿轉載。

※本特刊內容及建議屬作者意見，不代表財團法人國防安全研究院之立場。

發行人：霍守業 ｜ 總編輯：林成蔚 ｜ 副總編輯：嚴振國
編輯主任：蘇紫雲 ｜ 專題主編：許智翔 ｜ 執行主編：陳亮智
責任校對、助理編輯：吳自立、林彥宏、楊長蓉、翟文中、江炘杓、劉姝廷、何至中、陳柏宏、陳力綺
出版者：財團法人國防安全研究院
院址：10048 臺北市中正區博愛路 172 號
電話：（02）2331-2360　傳真：（02）2331-2361
Institute for National Defense and Security Research
No.172, Bo-Ai Road, Chongcheng Dist., Taipei City, Taiwan（R.O.C.）
Tel:886-2-2331-2360　Fax:886-2-2331-2361

財團法人國防安全研究院

Institute for National Defense and Security Research