

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載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。²2017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-access/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 Diego, 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 Concept*, 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。¹²2020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。¹³2021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。¹⁶2021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英尺且滿載排水量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英尺且排水量約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 "UxSIBP 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，若其涉及的各项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。

除了前揭的各项技術風險外，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

