

F-35聯合打擊戰鬥機 跨代空權戰略

軍事科技作者 耿志雲

提 要

從美國F-35成軍部署以來，世界的空權型態與定義已隨「聯合打擊戰鬥機」的各項性能指標悄然演變，美國空軍參謀長和海軍作戰部長均曾於2020年表示，將致力於把各自的指揮與管制網路，鏈接到一個單一的聯合全域C2系統上，以期未來可以在5個作戰維度(陸、海、空、太空和網路空間)的所有4個軍種之間快速、無縫地交換數位情報資訊，這對於空軍和陸軍構想的未來「多領域作戰」至關重要。透露美軍已意識到「全域C2」或「多域C2」，從根本上是一個跨軍種的共同課題。「聯合全域C2」(簡稱JADC2)是美軍參謀聯席會提出的C2網路專業術語，該網路可以將所有的美國軍用感測器，即時鏈接到所有作戰單位。

美國海軍已經在名為「整合射控防空」(NIFC-CA)的網路上進行了大量投資，該網路將機載感測器與水面艦艇戰情中心相鏈接，目的是將機載的長程感測器與水面艦艇聯通成為更強大的火力組合。美國空軍認為其先進的戰鬥管理系統(ABMS)最終將演變為聯合系統，成為美國所有軍事行動的一個C2和戰鬥管理系統，它將跨越所有軍種的部門(甚至情報界)擁有的感測器達成聯通，以便為跨世代的空權力量建立基礎。F-35「聯合打擊戰鬥機」仍然擔任基本工具。

關鍵字：聯合作戰、聯合全域C2(JADC2)、海軍整合射控防空(NIFC-CA)、先進戰鬥管理系統(ABMS)、艦載機聯隊(CAW)、聯合打擊戰鬥機(JSF)

前 言

美國空軍在2019年11月中旬預劃了一項實驗，希望能將F-22A和F-35A兩種第5代戰鬥機透過資料鏈路串聯戰備，空軍實驗主管將它稱之為「聯通」系列實驗的第一項。實驗從12月開始，每4個月進行一次。目的是找出通信裝備潛藏問題的機隊，邀請五角大廈內部和系統廠商與學術界提供解決方案的建

議，然後再實際測試這些建議的可行性。這項由「北美空天防禦司令部」和「美國北方司令部」共同舉辦的第一場實驗，將嘗試允許F-22A和F-35A共用戰區空域，以作為長期以來的戰鬥能力展現。

F-22A用2010年以前生產的數據資料鏈路，無法與新型F-35A上使用的多功能高級數據鏈路或MADL系統匹配；雖然F-35A可以通過Link 16接收參數，但不能和友軍僚機共

享數據，考慮到F-35A作為未來美國空軍主要感測器的想定，這是一項關鍵的功能。對於這項測試，空軍將在「第一網關」(Gateway One)的實驗工作名稱下，使用特殊的聯通裝備充當兩架測試任務機的「通用翻譯」。第一次測試將設備放在測試場的邊上，任務機會從該固定位置來回傳遞信號。

美國空軍在4個月內將Gateway One放在Valkyrie無人機上，該系統由Kratos設計，價格便宜到足以在實戰上大量使用。這其實已不是第一次將無人機用作兩架戰鬥機之間的鏈接工具：2017年，諾斯洛普·格魯曼公司(Northrop Grumman)推出了配備新無線電的「全球鷹」(Global Hawk)無人機系統，以充當飛機之間的翻譯。目前擬議中的「未來聯接計畫」，包括將Space X的「星鏈」(Starlink)衛星與KC-135E/R空中加油機通信鏈接起來，以表明商業通信可以與軍用飛機共同使用資料鏈路。KC-135團隊自願參加，因為加油機一直在找尋更多的頻寬。五角大廈只須經歷幾個「聯通」的周期，就可以獲知這項計畫在未來是否可行¹。

然而，基於軍種各自的屬性與裝備研發的期程，美國海軍和陸戰隊也在致力於研究未來超級航空母艦搭載的海上航空力量新編制，除了大量建構戰區的「網路中心戰」基礎設施，同時也啟用多款無人飛行載具充當戰鬥與勤務飛機，此外，以「聯合作戰」為設計概念的F-35系列值此仍然扮演跨軍種、

跨世代裝備研發的共用化基本載具。本文試圖從「聯網演習」、「性能想定」、「編制想定」等層面，推估未來美國各軍種從現階段第5代裝備延伸到第6代空權的發展樣貌。

聯合網路演習推估

一、演習示範飛彈防禦網路

為了示範未來如何在戰區網路空間與在真正戰場上能夠實用，著名的洛克希德·馬丁「臭鼬工廠」(研製U-2和F-104的飛機設計所)和飛彈防禦局(MDA)，日前將一架美國空軍的F-35A和一架U-2S超高空偵察機，以及藉由數據資料鏈接的多重地面站台串聯，如此安排，是為名稱「防暴計畫」(Project Riot)的反制彈道飛彈防禦演習之一部分。其目的在於向外界展示「美國空軍能以不同網路安全級別的不同飛行載具迅速順利聯網」的實力，還能在幾秒鐘內擬定決策、反制威脅。就在十幾年前，美軍所稱的「電腦化軍事基地」就意味著該單位有Apple II電腦伺服器主機。但在今日，先進的數位化系統、全球數據網路和人工智能正在迅速改變主要大國的作戰面貌，隨著數據匯流排的不斷發展改良，已然與飛彈一樣的重要性地位，艦船、飛機，指揮中心甚至個別士兵之間的聯繫日益緊密，成為同一個單一的戰鬥實體，達到「聯合戰區」的定義。

將所有這些單元串聯在一起，並不僅像把藍牙喇叭與智能手機配對那麼簡單。軍

¹ Aaron Metha, "Air Force to link F-35, F-22 in 'connect-a-thon' experiment", C4ISR Net, 2019/11/12, 檢索日期2021/5/1, <https://www.c4isrnet.com/air/2019/11/12/us-air-force-to-link-f-35-with-f-22-in-connect-a-thon-experiment/>。

用系統可能容易受到網路攻擊，況且流動式傳輸的數據通常較敏感，因此，鏈接數位化系統，意味著要在多重領域(multi-domain)上為許多不同級別的載具進行安全性導航，要達成工作，這些單元它們都必須立即協同傳遞數位情資。對於像「防暴計畫」這樣的演習，由洛克希德·馬丁公司及其空軍合作單位使用一架F-35A「閃電II」戰鬥機，作為前置感測器滯空載具藉以探測來襲的彈道飛彈。然後，另一架搭載著電腦分析軟體的現代化U-2S偵察機，在F-35A、多重領域地面站台，與防空指揮官之間充當「視線中繼」，U-2S滯空任務機再參考飛彈路徑的模擬數據情資，來決定如何反制威脅，這項程序以前通常需要幾分鐘，但以新的鏈接聯通模式只要幾秒鐘(甚至更短的時間)就能做到。

根據洛克希德·馬丁公司的說法，該項演習的示範團隊利用了常見的技術來降低成本，並且在4個月內就完成演習的預設工作目標。這些技術不僅包括把飛機與基地站台鏈接，而且還建立了一個空中和地面的安全互聯網路，如此，普通單位就算使用較舊的電腦設備，也可以處理和分析第5代感測器數據，並能將第5代數據傳遞到空軍的「聯合指揮與管制介面」和各種「開放式任務系統」之內。對此，洛克希德·馬丁公司副總

裁兼F-35「聯合打擊戰鬥機」計畫總經理葛雷格·烏爾默(Greg Ulmer)說：「F-35具有先進的感測器和資料鏈聯接功能，能夠蒐集和與友軍無縫共享關鍵資訊，藉此讓聯合部隊更加安全有效。至今世界上還沒有其他噴射戰鬥機具備這種能力，這項演習是發揮F-35「多重領域作戰潛能」戰力的關鍵一步²。在前文所述的戰區滯空網路串聯的演習初步獲得成功之際，美國海軍艦載航空力量的階段任務重點，將是委請廠商為海軍與陸戰隊聯合研發新的電子戰英艦，藉以取代EA-6B電子戰飛機除役之後的戰力空缺。(圖1)

二、陸戰隊的電子戰新英艦

早在2019年美國陸戰隊就已除役了最後



圖1 美國空軍「防暴計畫」反制彈道飛彈演習中F-35A擔任「前置感測滯空載具」與U-2S進行戰區數位情資網路串聯的想像圖示。

資料來源：David Szondy, "Project Riot Demonstrates networked missile defense", Military, New Atlas, 2019/9/16, 檢索日期2021/3/27, <https://newatlas.com/military/project-riot-demonstrates-networked-missile-defense/>。

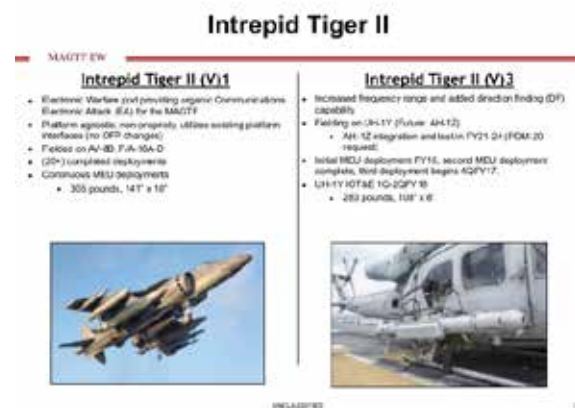
2 "Lockheed Martin Skunk Works(r) Project Riot Demonstrates Multi-Domain Operations-Demonstration Further Proves F-35's Role as the Keystone of the Joint Force and U-2's Ability to Rapidly Field Capabilities for the Future", PR News Wire, Lockheed Martin, 2016/9/16, 檢索日期2021/4/25, <https://news.lockheedmartin.com/2019-09-16-Lockheed-Martin-Skunk-Works-R-Project-Riot-Demonstrates-Multi-Domain-Operations>；David Szondy, "Project Riot Demonstrates networked missile defense", Military, New Atlas, 2019/9/16, 檢索日期2021/3/27, <https://newatlas.com/military/project-riot-demonstrates-networked-missile-defense/>。

一架EA-6B「徘徊者」雷達干擾機，當然同時也正在設法建立新的電子戰載具。EA-6B是A-6攻擊機的4座版本，最終於2019年3月除役，它在兩翼下方搭載AN/ALQ-99干擾莢艙，還可以發射AGM-88C「高速反輻射飛彈」(High Speed Anti Radiation Missile-HARM)。在1970年以降的美國每次大規模海外衝突中，海軍和陸戰隊的EA-6B都擔任先遣機，壓制並摧毀了敵人的防空系統(包括1996年春季的台灣海峽飛彈危機)。但是到了2019年，EA-6B已經服役甚久，只有少數還在戰備。美國海軍於2015年就已把該機型除役。海軍用新的EA-18G「咆哮者」取代了EA-6B，但是陸戰隊選擇不購買F/A-18E/F「超級大黃蜂」衍生的雷達干擾機。相反的，陸戰隊正在做新的嘗試，並將電子戰任務分散到包括F-35B戰鬥機和各種型號無人機在內的各種飛行載具上。

美國海軍將使用已達30年的ALQ-199莢艙除役的原因之一，在於研發新的對低頻與超低頻探測新莢艙，藉以對付中、俄的新一代核動力潛艦，但陸戰隊航空兵的電磁頻譜操作方法，是採用一種與載具無直接關係的「分佈式策略」，陸戰隊在其2018年《航空計畫》中這麼描述：海軍航空兵正在以跨代飛行載具的策略，整合電子戰系統和「無畏虎」II電戰莢艙(Interpid Tiger II)的籌載，以便向指揮官們提供有組織而且能持久的機載電子戰能力。首先，陸戰隊將依靠F-35B戰鬥機及其強大的AN/ASQ-239電子戰套件、數據資料鏈和新的機載武器，藉以部分暫時替代EA-6B的干擾能力。美國陸戰隊計畫購買420

架F-35B，以便在2030年之前替換所有第3代固定翼戰鬥機，陸戰隊在其2019年《航空計畫》中明言，F-35B將功率強大的電子戰套件、機載武裝、感測器和降低電磁波功能運用到了「陸空特遣部隊」之上，F-35B的電子戰功能，包括可以傳遞地理區位、標識目標，和藉由Link 16資料鏈與戰區內友軍共享數據情報。(圖2~3)

此外，F-35B的未來改良版本應與「先進反輻射飛彈」兼容，它是具有更好的尋標器和發射軟體的HARM新版本，經過改良，F-35B的電子掃描陣列雷達可以兼作雷達干擾器。此外，機身內建的AN/ASQ-239使F-35B具備了最新的電子戰能力。根據製造商「貝宜」(BAE Systems)的說法，AN/ASQ-239為飛行員提供了最高等級的態勢感知能力(Situational Awareness)，有助於鑒別、監視、分析和應對潛在威脅。它的機載先進航空電子模組和感測器，可提供整個戰區的即時360度視野圖像，有助於最大幅度地擴大偵察範圍，並為飛行員提供規避、接戰、反擊或干擾威脅的選項。陸戰隊並不認為F-35B本身就能壓制敵人的所有防空系統。還正在開發



Intrepid Tiger II (Cont.)



圖2~3 美國陸戰隊正在為未來海上航空力量研製的「無畏虎 II」機載通信與電戰英艙，以期暫時取代EA-6B雷達干擾飛機除役之後的戰力空隙，圖示為該英艙的各種研改構型，以便於讓各現役機種搭載使用。

資料來源：2019年版美軍「陸空特遣部隊」電子戰使用準則p.5~p.7。

「無畏虎」II(I.T. II)，它是一種結合無線電和雷達干擾的新電戰英艙，可以與任何美軍現役的旋翼飛機或固定翼飛機系統兼容。陸戰隊也正在整合I.T. II英艙和AV-8B II垂直起降

噴射機、UH-1Y通用直升機、KC-130J空中加油機和MV-22B傾轉旋翼機的聯合部署效能。

專門替陸戰隊航空兵研發的「無畏虎」II主要功能在於遂行戰區加密通信、電子戰支援和電子攻擊。根據陸戰隊2019年《航空計畫》所述，正將I.T. II與每個AV-8B II飛行分隊層級一起部署，而且還已經完成了8具英艙與UH-1Y通用直升機分隊的部署。I.T. II與KC-130J的整合，在2019財會年度完成並投入戰備序列。至於開發MV-22B的I.T. II反雷達能力始於2016財會年度，到2021財會年度的研發仍在進行。在整個2018財會年度部署了I.T. II，以支持第15、31、26和13「海上遠征隊」的部署。截至2018年，陸戰隊還計畫將I.T. II增加到現役的RQ-21無人機和未來的「陸戰隊無人遠征隊」(Marines Unmanned Expedition Force-MUX)無人機中。I.T. II電子戰性能搭載在RQ-21上的初步研究和設計始於2018財會年度，即陸戰隊2019年《航空計畫》所述。在2021~2023財會年度進行先導批量生產。I.T. II和RQ-21的整合，將進一步為擴展陸戰隊電子戰能力立下基礎。2019年《航空計畫》也提到，MUX也將擔綱未來新編制的海軍航空聯隊電子戰單元，除了提供持續的偵察、監視和通信之外，MUX還將提供長遠、持續、穿透和反應迅速的機載電子戰能力³。

3 David Axe, "Can the U.S. Marine Corps use F-35s to wage Electronic Warfare? Now the service has retired the last of its EA-6B Prowler radar jamming planes", The National Interest, 2019/4/7, 檢索日期 2021/4/20, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/can-us-marine-corps-use-f-35s-wage-electronic-warfare-51197>。美國陸戰隊新研發的通信電子戰英艙「無畏虎II」(Intrepid Tiger II EW)會分配給海軍的中型旋翼機第264中隊MV-22B(增強型中隊)和第2無線電營。

下一頁繼續

三、成功整合射控防空網絡

陸戰隊的F-35B在2019年的另一項演習中也展現了出色的能力，機載感測器發現了一個空中目標，將數據傳遞給神盾彈道飛彈防禦站位，並讓陸基前沿基地發射飛彈擊落目標，從而摧毀了進犯敵機，自己並沒有開火射擊。這一項戰術的發展同時證明了美軍最重要的兩項成就：F-35B和海軍整合射控防空網路(Navy Integrated Fire Control NIFC-CA)的發展成功。

從本質上講，NIFC-CA藉由整合來自各系統單元感測器的數據，以茲產生可用於防禦威脅的目標參數，此一技術徹底改變了海軍艦用標定系統。因此，現在獲得這種技術，F-35系列就可以將目標參數傳遞給世界上最先進的飛彈防禦系統，亦即「神盾」雷達站位，該系統可以發射自己的飛彈(可能是SM-6)，以在地面或海上摧毀空中來犯的威脅。這意味著F-35可以匿蹤穿透對抗激烈的敵方空域，一面檢測威脅，一面能用從遠端站點(如陸基神盾或驅逐艦)發射的防空飛彈摧毀威脅，而自己無需開火，也不必冒著放棄其空中位置的風險。「標準-6」(SM-6)是SPY-6新神盾驅逐艦的首選飛彈，它是一種長22英尺的倍音速防空攔截飛彈，可以尋找、轉彎和摧毀空中目標，例如敵方噴射機或飛來的巡弋飛彈和彈道飛彈。SM-6的龐大尺寸使其無法搭載在戰鬥機上，但是現在，

由於F-35與NIFC-CA的整合，它不必以機載發射。F-35在設計概念上本來就是一種可以「超聯結」部署的匿蹤戰鬥機，還可藉由機載雷達系統，充當高空、高度機動的感測器中繼站，藉此擴展了SM-6飛彈的有效射程。

這種「聯合作戰」的模式，有助於減輕外界對F-35「攜帶武器的能力有限」的擔憂。由於戰鬥機的「匿蹤設計」，意味著所有武器都必須存儲在機艙內部，這就嚴重限制了飛機的綜合武器投擲能力。這種限制因素，引起了對傳統噴射機戰術戰法有偏好的專家批評。然而，目前看來F-35和其他武器的聯通性，已讓外界無從置喙。總體而言，F-35和NIFC-CA的整合，改變了中、俄先進防空系統所建構的所謂「反介入／區域拒止」(A2/AD)的戰區戰略布局。第5代戰鬥機的關鍵定義屬性之一，是藉由其遍布機身最重要的感測器達到和外界(友軍單位)通信串聯功能，藉此為聯合作戰帶來力量倍增的效應。至於NIFC-CA是美國海軍的「遊戲規則改變者」，它擴大了美軍可以檢測、分析和攔截目標的接戰範圍。F-35B/C系列和「神盾」戰鬥系統的最新示範，讓美國的新海上航空力量，更加進一步地實現了這些複雜系統對全球軍用網路的真正潛力和力量，以保護和支援戰鬥單位、美國本土和盟國的安全⁴。(圖4)

第22海軍遠征部隊(MEU)的陸戰隊於2019年中進行了水陸兩棲「無畏虎II」(V)3電子戰英艦的首次飛行。兩棲攻擊艦「胡蜂號」(LHD-1)則是以戰區網路的系統為主要架構，提供RDC(快速部署能力)以支持地面作戰。與「胡蜂號兩棲戰備群」共同部署的第22飛彈防禦隊正在第6艦隊戰備區進行海軍移防部署，以支持美國在歐洲的國家安全利益。



圖4 F-35B和美國海軍「整合射控防空網路」(Navy Integrated Fire Control NIFC-CA)的協同運作想像圖。

資料來源：洛克希德·馬丁公司圖檔。

第6代機性能推估

美國新世紀海上航空力量在第5代機系統完成「聯合戰區」的資料鏈路與戰情網路架構部署之同時，跨代系統的聯合演習仍在不斷進行，這一方面是為維護部署海外前線既有戰力的發揮，另一方面自然也是在為下一

代系統預作鋪陳，換言之，第6代系統的人工智能化成效，將全然建立在第5代系統的成功之上。第6代戰鬥機是概念性的噴射戰鬥機設計，它們比目前正在服役和研發中的第5代戰鬥機更為先進。世界已有多國宣布了第6代機計畫，預計美國空軍和美國海軍將於2025～2030年部署其第一批第6代戰鬥機⁵。美國空軍正在藉由「穿透空中反擊」(Penetrating Counter Air program)計畫⁶來開發和採購第6代機，以取代其現有的空優戰鬥機，例如：F-15C/D/E，並補充現有的載具，例如：F-22A和B-21⁷。美國海軍也正在執行一項類似的計畫，即「下一代空優」(NGAD)，目的同樣在補充F-35C，並且替換其現有機隊，如波音F/A-18E/F⁸，2030～2035年是部署第6代戰鬥機更實際的時間表⁹。

近期，由美國國防產業發起有關「2030

4 "How the F-35 proved it can take enemy's airspace without firing a shot", Business Insider, We are the Mighty, 2020/9/10, 檢索日期2021/4/29, https://www.wearethemighty.com/articles/the-f-35-just-proved-it-can-take-russian-or-chinese-airspace-without-firing-a-shot/?utm_source=facebook&utm_medium=social&utm_campaign=Evergreen&utm_term=Gear-Tech&utm_content=the-f-35-just-proved-it-can-take-russian-or-chinese-airspace-without-firing-a-shot&fbclid=IwAR2vTLW-UKwoPYhoxhZpsjWCaosdmifGs96VsykPGs-cT53QtcJPHSBdO8Q。

5 John A. Tirpak, "The Sixth Generation Fighter", Air Force Magazine, 2009/10/1, 檢索日期2021/4/27, <https://www.airforcemag.com/article/1009fighter/>。

6 Sebastien Roblin, "Beyond the F-22 or F-35: What Will the Sixth-Generation Jet Fighter Look Like?", The National Interests, 2018/6/21, 檢索日期2021/4/25, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/beyond-f-22-or-f-35-what-will-sixth-generation-jet-fighter-look-26451>。

7 Robert Farley, "A Raider And His 'Little Buddy' : Which Fighter will Accompany with the USAF's B-21?", The Diplomat, 2016/9/24, 檢索日期2021/3/30, <https://thediplomat.com/2016/09/a-raider-and-his-little-buddy-which-fighter-will-accompany-the-usafs-b-21/>。

8 Stephen Trimble, "Boeing's fighting comeback", Flight Global, 2011/7/12, 檢索日期2021/4/23, <https://www.flightglobal.com/boeings-fighting-comeback/101075.article>。

9 Kyle Mizokami, "Sixth Generation Fighter Jets Are Already Taking Shape", Popular Mechanics, 2017/3/27, 檢索日期2021/4/24, <https://www.popularmechanics.com/military/aviation/a25832/sixth-generation-fighter-jets-already-taking-shape/>。

年代未來戰鬥機技術」的網路研討會，逐漸清晰地描繪出美國的第6代戰鬥機其性能特徵，而恰好美國空軍也計畫在2030年部署第6代戰鬥機。美國空軍先前曾公開這架飛機的原型機，已經秘密進行了試驗飛行，這是一般人前所未見的外型，自然對新機的性能知之甚少。美國雷神產業情報與航太公司的技術人員和工程師，正在研發相同等級的系統，他們認為，這將可交付給美國空軍各種新技術優勢。在系統工程的層級上，他們不是在「設計飛機」，他們正在「設計系統」（感測器、通信機、電子戰模組），希望有朝一日能夠對空中的敵機，達到壓倒性的技術優勢。

一、第6代機的演化特徵

雖然仍處於發展的早期階段，但許多第6代戰鬥機概念共通的幾個鮮明特徵已經逐漸演化的越來越清晰。觀察第5代機的空對空能力，是以預期的「反介入／區域拒止」（A2AD）環境中的戰場生存能力，以及對地面支援／攻擊的能力，需要增強並適應未來的聯合戰場威脅環境。起初對空優任務的關注，已經有所轉變，對近戰的纏鬥變得越來越少，而是擴大到包括對地面支援、網絡中心戰乃至太空戰，以及視距外（BVR）空戰能力，空對空飛彈的能力仍然重要。

到了第6代機還尋求執行載人和無人機搭

配任務的靈活性，以及在高強度任務網路環境中，與更多的導航衛星、無人機隊，和地面遙控站台感測器整合的能力，以提供完整的「參數到決策」（D2D）功能。預期擔綱這些任務的典型設計特徵，包括：先進的數位化功能、大容量網路頻寬、人工智能、數據整合、網路中心戰（網狀化作戰）、D2D和戰場指管與通信（C3）功能。

其次，可選擇載人與無人，能夠執行飛行員、長程控制或機載AI控制的任務。也能藉由頭盔顯示器顯示虛擬駕駛艙，增強了人因系統的整合性，從而使飛行員可以通過AI增強戰場警覺意識，來進行360度視覺控制，並取代了傳統的座艙儀錶廊板。全機為先進的匿蹤機身和配備精密航空電子設備。搭載先進的可變向量循環發動機，能夠經濟巡航，但在需要時仍可提供超音速推力。也能發射增加射程的對防區外武器和BVR武器。甚至還能使用定向能量武器，例如雷射近迫系統（CIWS）。唯其中某些性能的可行性仍不確定，其研發時間和成本很可能是決策層級制定實際發展路徑的主要因素¹⁰。軍武觀察家預計，在2025年左右美國五角大廈將有對這些系統更具體的要求。

二、第6代機的6點預測¹¹

鑒於第5代戰鬥機結合「全匿蹤構型」、「超音速巡航」、「資料雲端化」等基本共

10 Hope Hodge Seck, "So What is a 6th-Generation Fighter Jet?", Military.com, 2021/3/8, 檢索日期2021/4/25, <https://www.military.com/podcasts/left-of-boom/2021/03/08/so-what-6th-generation-fighter-jet.html>。

11 "Six predictions for the 6th-gen fighter", Join a webinar technology for fighter jets in the year 2030, Raytheon Intelligence & Space 2021, 檢索日期2021/4/22, <https://www.raytheonintelligenceandspace.com/news/feature/six-predictions-6th-gen-fighter>。

通特性，藉以超越第4代(含4代半)機隊的高級射控航電與機載武裝，此一定律也將適用於比擬第5代機與第6代機的基本屬性差距，形成美式空權一貫講究的「世代技術」定義，因此，吾人可以推估第6代機將勢必以「多功能軟體」、「數據資料庫」、「人工智能化」成為研發的重點，至於高性能沖壓發動機、聯合戰區電子戰模組等硬體單元都將隨特定戰區的想定，以「模組化」的概念選用於任務載具之上。

1.未來的戰鬥機將擁有一套適用於所有功能的任務系統：第6代戰鬥機可能具有一種可以完成多項任務的裝備，從而取代了當今飛機上常見的不同系統。該系統將包括「可適應的軟體」，該軟體可在幾毫秒內完成任務之間的轉換。未來的第6代機不再需要雷達，不再需要電子戰模組，甚至也不再需要無線電。相反的，只要搭載可以完成所有任務的多功能系統模組，並且可以非常迅速地重新編排任務順序，幾乎瞬間就可完成在各種任務之間轉換。

2.戰鬥機將成為「飛行數據中心」：第6代戰鬥機的任務電腦處理能力將達到驚人的水準，將先進的任務電腦放到當今的飛機上，並將飛機實際上轉變為「飛行數據中心」。在通信與空域管理系統的技術層面，第6代機的多功能任務系統，將比以前的系統產生更多數量級的數據。由高性能、堅固耐用的處理器組成的機載電腦介面，將可有效

地將數據中心放置於空中。這些系統將利用人工智慧將各項參數即時轉換為戰場情資。結果將達到更迅速的決策制定目標。

3.人工智慧將成為「未來的僚機」：未來獲得派任第6代戰鬥機的飛行員，可以通過被稱為「無人機聯隊」或「MUM-T」(Manned and Unmanned Teaming)的概念¹²，從附近的友軍飛機自動獲得援助。這便是「人工智慧僚機」的概念實現。美國技術團隊正在探討究竟基層的人工智慧和機器學習，「是否可以支持有人駕駛飛機指揮無人駕駛僚機編隊」的想法。今日，一位飛行領隊可以指揮另外4到8架載人飛機，並且指派他們各自完成任務。但自主行為可以為飛機提供類似級別的任務，而這些任務不一定要由人來控制。

4.未來的戰鬥機將可自動降落：未來的飛機可能會使用新的軟、硬體自動降落在航空母艦上。這種技術已經由美國海軍和陸戰隊聯合研發。雷神公司正在研發可以使用未來加密信號的演算法，以便在全天候和各種地貌條件下，安全地將飛機引導到精確的降落區。目標是讓飛機能自主降落，但也可以為飛行員提供輔助引導。這項技術不僅支持VTOL(垂直起降)飛機，也包括未來的「城市空中機動載具」。

5.數位化工程將能節約經費：儘管當局很難預測製造第6代戰鬥機這般規模的計畫。小故障和設計選項會影響成本，和未來幾年

12 Lieutenant Colonel Livio Rossetti, ITA A, JAPCC, "Manned Unmanned Teaming A Great Opportunity or Mission Overload?", Joint Air Power Competence Center, 2020, 檢索日期2021/4/16, <https://www.japcc.org/manned-unmanned-teaming/>。

的附帶計畫。但聯接所有可用參數的數位化線程，有助於美國空軍更方便準確地預測成本和性能長達數十年。這項未來飛機系統與技術數位化工程的下一個層次，將是整個供應鏈的互聯性。對此，美國空軍正在與飛機製造商和國防包商的供應鏈合作，藉以研發互聯互通和雙向的數位化對接。這將大幅度減少國防部的周轉程序，並且通過自動化減少錯誤，從而提供更好的解決方案。這種聯接成本概念的「數位化模型」將使國防廠商對未來數十年的生產、運營和維護成本能有更精確的了解和掌控。

6.第6代戰鬥機的感測器可以互換：如今，飛機上的感測器使用通用聯接埠，使它們能夠與飛機上的任務電腦通聯。但使用者必須考慮到，一天中可能需要插入各種不同的新模組，所以這種標準化是有意義的。第6代機的感測器幾乎可以「隨插即用」。屆時，任務機的飛行員會問的是：「我會選擇某一個光電感測器來完成一項工作嗎」？還是「我只選擇使用紅外線感測器」？未來的感測器可能具有足夠容量的模組化設計，可以在飛行任務路線上互換。今日，美國的各大國防承包商正在為未來飛機感測器的通用性和模組化程度進行設計。

三、載人和無人機組合應用

載人和無人機組合(MUM-T)的最早例子之一，是在第二次世界大戰期間，一架美國

B-17F「飛行堡壘」從英國皇家空軍機場起飛，直奔德國，其後是3架跟隨的飛機。B-17被指定為搭載「BQ-8遙控載具」，實際上是一架飛行炸彈，機上裝有20,000磅炸藥，目標是德國的潛艦掩體。BQ-8的任務概念是如同兩名飛行員的普通飛機一樣起飛，到達2,000英尺的巡航高度，然後將機組人員空降到英吉利海峽，而其餘的任務就由一架長程飛機伴航。儘管任務最終未果，但MUM-T的概念和優勢，以及執行此類作戰的技術，仍在不斷成熟，並且掌握了美國如何執行改良統一歐洲陸地作戰的概念¹³。

在過去的20年中，美國MUM-T研發所花費的大量時間和資源成數倍增長，這不僅迫使無人機系統在實用中發展，而且讓MUM-T功能納入美國的載人飛機設計要求和整合基礎設計。例如，目前AH-64D「阿帕契」機隊就有使用名為MUM-T2的附加系統，控制無人機(UAS)及其有效載重的能力。至於AH-64E的設計將不僅能控制有效載重能力，而且還可控制UAS飛行的能力，同樣具備MUM-T功能，在生產過程中將其完全整合到飛機(直升機)的人機介面中。讓擔任空中「中繼指管」的直升機和其他飛行載具，能有第6代機的若干特性¹⁴。

美軍吸取了過去十幾年中在東的經驗，擬定了UAS和偵察／攻擊計畫之間的合作關係策略，將繼續發展和整合，目的是在不使

13 Col. Thomas von Eschenbach, "Unmanned Aircraft System-Manned-Unmanned Teaming", Army Aviation Magazine.com, 2014/12/2, 檢索日期2021/4/22, <http://armyaviationmagazine.com/index.php/archive/not-so-current/589-unmanned-aircraft-systems-manned-unmanned-teaming>。

14 同《註13》。

機組人員工作量飽和的情況下增加能力的新方法。現在的MUM-T不僅可以進行攻擊、偵察和監視，還可以提供信號情報，並且向地面士兵發送感測器數據。甚至不久的將來MUM-T也可以擴展到空運戰略物資的層面。

隨著美軍對2025年及以後的部隊進行規劃，以便在未來10年內保持與對手的競爭優勢，第6代機和無人機將不得不繼續擴大其作用和任務。在接下來的幾年中，可以想像美國將會探索無人機系統的全部功能，以及它們如何以更前線部署和可生存的方式，為規模更小、更精簡的特戰編制部隊帶來協同作用。

艦載機聯隊新編制推估

隨著新一代系統的逐漸完成部署，和對突破「反介入／區域拒止」(A2/AD)能力的想定，影響了美國海軍艦載機未來的部署與編制架構。當局對未來艦載機聯隊的構想提出了新的細節，包括汰除F/A-18E/F「超級大黃蜂」多用途戰鬥機。除了將以「下一代空優計畫」(Next Generation Air Defense-NGAD)研發其繼任機種之外，還計畫更換EA-18G「咆哮者」電子戰飛機，這些內容都將重塑海軍

艦載機聯隊的規模，屆時可能會有多達2/3的無人機上艦¹⁵。

一、聯合作戰概念主導空優

儘管美國海軍正在與空軍共同就各自的「下一代空優」計畫(NGAD)的某些方面進行合作，但這些基於「聯合作戰」的概念，仍然將以符合軍種屬性為前提，生產不同的載具，但是在航空電子方面，它們將有一些共通性的子系統。這顯示美國空軍的目的是在一定的機隊數量上，取代F-22A甚至F-35A¹⁶，而且也能和海軍的NGAD相得益彰、各取所需。2020年9月，美國空軍的某型第6代機的原型機已經在試飛¹⁷。但是，海軍仍在努力達到其NGAD的要求，海軍的NGAD基本上是「系統家族」，因此，未來的F/A-XX如作為艦載機聯隊的核心力量，目的在於取代F/A-18E/F機隊。而F/A-XX可能仍是有人駕駛，但海軍NGAD的總計畫還包括有人駕駛飛機和無人機的混合編制¹⁸。

隨著美軍無人機單位的日漸普及，海軍將把現役無人機能量整合到其中。但是，NGAD預計研製的無人機主要不是與載人戰鬥機一起使用。空軍稱這類戰鬥無人機為「忠實的僚機」¹⁹，海軍非正式地稱它們為

15 Mallory Shelbourne, "Navy : NGAD will be family systems, Super Hornet Replacement likes a Manned Fighter", USNI News, 2021/3/30, 檢索日期2021/4/30, <https://news.usni.org/2021/03/30/navy-ngad-will-be-family-of-systems-super-hornet-replacement-likely-a-manned-fighter>。

16 "Top sixth-generation fighter jets", Air Force Technology, 2020/11/20, 檢索日期2021/4/20, <https://www.airforce-technology.com/features/top-sixth-generation-fighter-jets/>。

17 Michael Tyrrell, "U.S. Air Force just revealed a first look at its new fight", Aerospace Manufacturing, 2021/4/16, 檢索日期2021/4/30, <https://www.aero-mag.com/secret-new-fighter-jet-16042021/>。

18 同《註15》。

「小伙伴」²⁰。海軍無人機同樣可以用作電子戰或空中預警載具，以及載人戰鬥機的「附屬僚機」²¹。以海軍的NGAD擊劃推論，未來將不得不更換E-2D，若以現有的技術發展推估，無人駕駛的預警管制機是一種必然的趨勢，這項論點似乎與美國陸戰隊在這一領域的計畫相符²²。

美國海軍NGAD現在至少包括2項不同的工作目標：其1，是研究F/A-18E/F的繼任機種，仍然擔任艦載機聯隊的主力，其2，則專注於研發EA-18G電戰機的繼任機，但也可能採用一系列的系統整合，希望能編成載人和無人系統的組合編制。目前，載人飛機的屬性對F/A-18E/F是有利的，但主要用於擊敗敵對防空系統的EA-18G任務，多得力於無人機的情資，說明匿蹤無人機佔有重要位置²³。

二、載人和無人機組合趨勢

根據近期美國《國防戰略》期刊的描述，決策層級對戰略對手的關注日益增加，

這意味著美國準備好對付中、俄的高級防空系統。從本質上講，可誘敵的無人機成本相對低廉，還能確保指揮官的戰術意圖，在高風險場域中使用它們²⁴。總體而言，未來的美國海軍艦載機聯隊編制，仍然可能由無人機佔多數，海軍正在模擬規劃40～60架無人機的實驗編制，但從長遠來看，一旦運作效益穩定，就會固定編成40～60架無人機的正式聯隊編制。這些願景與美國海軍準則先前已公開的《2030年概念性艦載機聯隊》的描述並無矛盾²⁵。

在昔日的概念中，載人飛機的作戰效益到2030年還是大幅超越無人機，但仍可與NGAD推出的時間表相吻合。這種載人和無人機搭配的企圖是否得以發揮效益，將取決於海軍的MQ-25「黃貂魚」無人空中加油機的發展是否如期順利，它是美國海軍首架可實戰部署的艦載無人加油機²⁶。MQ-25將有助於海軍證明「作戰和通信鏈接」等概念，

19 "Loyal Wingman Unmanned Aircraft", Air Force Technology, 檢索日期2021/5/1, <https://www.airforce-technology.com/projects/loyal-wingman-unmanned-aircraft/>。

20 同《註15》。

21 Mallory Shelbourne, "Navy Quietly Starts Development of Next Generation Carrier Fighter ; Plans Call for Manned, Long Range Aircraft", USNI News, 2020/4/18, 檢索日期2021/4/20, <https://news.usni.org/2020/08/18/navy-quietly-starts-development-of-next-generation-carrier-fighter-plans-call-for-manned-long-range-aircraft>。

22 同《註15》。

23 Michael Tyrrell, "US Navy reveals more on plans for sixth generation fighter jet", Aerospace Manufacturing, 2021/4/20, 檢索日期2021/4/28, <https://www.aero-mag.com/us-navy-f-a-xx-fighter-jet-20042021/>。

24 Hadrien T. Saperstein, "Post-2040s : The Aircraft Carrier Concept Revisited", Real Clear Defense, 2021/1/21, 檢索日期2021/4/24, https://www.realcleardefense.com/articles/2021/01/21/post-2040s_the_aircraft_carrier_concept_revisited_657367.html。

25 Megan Eckstein, "Navy Kicks off Study of Next Generation Carrier, Naval Aviation", USNI News, 2020/3/9, 檢索日期2021/4/23, <https://news.usni.org/2020/03/09/navy-kicks-off-study-of-next-generation-carriers-naval-aviation>。

26 Valerie Insinna, "At a budgetary crossroads, the US Navy Aviation's Wing must choose between old and new", Defense News, 2020/6/1, 檢索日期2021/4/29, <https://www.defensenews.com/air/2020/06/01/at-a-budgetary-crossroads-the-us-navys-aviation-wing-must-choose-between-old-and-new/>。

可以實際應用在增加航艦戰略航程的無人勤務載具上，有利於更多無人機編入艦載機聯隊。

此外，E-2D預警機很有可能在未來更多無人機編入艦載機聯隊時發揮作用。2021年3月稍早，美國海軍宣布了修改「高級鷹眼」任務電腦的計畫，以便讓它也可以為無人機提供戰場管制，作為無人機組合試驗的一部分，這也將包括MQ-25的艦載作業管制，以及其他未來可能上艦的無人機²⁷。

三、概念完善階段空優推估

從另一方面觀察，美國海軍的NGAD時間表，約莫透露出當局偏好用載人機替代F/A-18E/F，因為和其他多功能艦載戰鬥機相比，F/A-18E/F所面臨的技術挑戰更少，容易達成在2030年代編成「新艦載機聯隊」的目標，包括正在進行的F/A-18E/F Block III和EA-18G Block II升級計畫的進度，例如，F/A-18E/F Block III的升級將持續至2033年，其中還包括機身延壽工程²⁸。

對海軍航空力量而言，「空戰」仍是無人機難以突破的障礙。將戰鬥型無人機導入編制，對現有的交戰規則、目標驗證和戰場警覺意識都是挑戰。根據《美國海軍學院期刊》(USNI)指出，目前，海軍NGAD計畫僅處於「概念完善階段」，應與國防系統業界一起研究可真正堪用的、新興的技術，包括無人機的應用領域。不論F/A-18E/F的繼任機

種採用什麼形式，它都能具備比F-35C更大的射程，而F-35C是「聯合打擊戰鬥機」的最新版本，將會與之一起納編。該機的航程半徑為700海浬，而搭配MQ-25時，作戰半徑可能會增加到1,000海浬以上，F-35系列的機載雷達探測模式，也預估了它在擔任穿透任務時的電磁場景。這將對美國海軍航空力量在印度-太平洋的部署有所助益，使航艦能夠在遠離大陸海岸的藍水部署空中力量，免受中共反艦彈道、巡弋飛彈，和極音速武器的射程威嚇。(圖5~6)

由國防高等研究計畫署(DARPA)主導的一項名為「長射」(Long Shot)的計畫，也有類似的構想。依該計畫，國防承包商正在為無人機設計攜帶小型空對空飛彈。在這種概

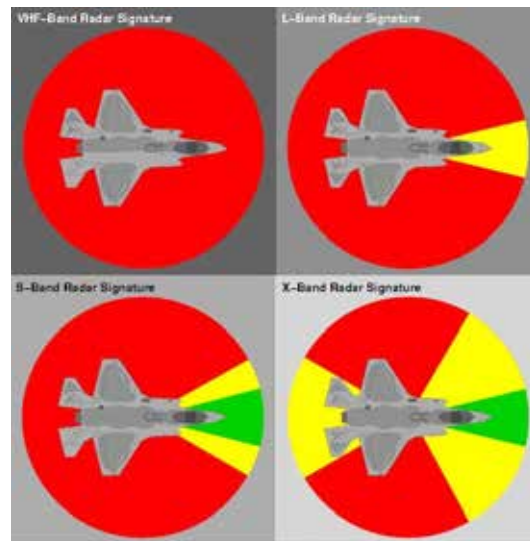


圖5 F-35機載雷達利用不同頻段時的電磁信號示意圖，使用S和X頻段時都具有聚束掃瞄模式。

27 Thomas Newdick, "Navy's Aviation Boss Lays Out Big Vision for Drone-Packed Carriers Of The Future", The Warzone, 2021/3/31, 檢索日期2021/4/29, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/40007/navys-aviation-boss-lays-out-big-vision-for-drone-packed-carrier-air-wings-of-the-future>。

28 同《註15》。

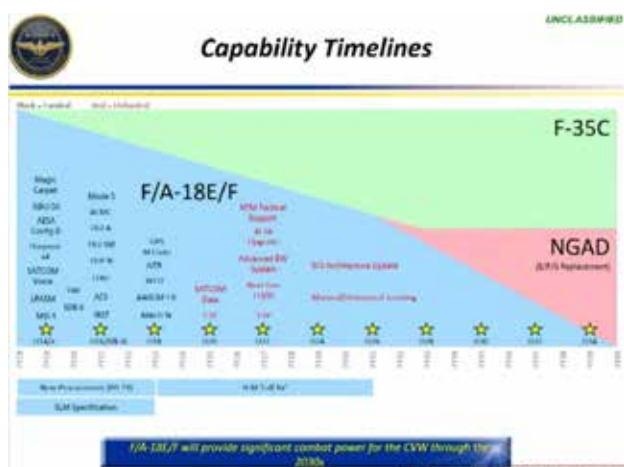


圖6 美國海軍航空系統司令部估計從2018~2040財會年度載人戰鬥機所可能擔任的戰備含量比重圖，顯示F/A-18E/F到2030年前仍然擔任艦載機主力。

資料來源：美國海軍

念模擬下，一架無人機會飛到某個空域，用自己的機載武器射擊假想的無人機對手，這將擴大發射載具的射程，並減低敵機或敵防空系統效能，增加其他附帶的戰場效益²⁹。

結語-降低風險節約成本

至於任務系統新構型，可以將新感測器立刻增加到無人機載具中，從而避免了「供應商限定」的風險，也不致受限於特定的任務系統，可以進一步避免該系統可能比替代系統差，但成本更高的情形，實現更低的維護和運作成本。參考美國海軍NGAD的計畫編制，都是由核動力超級航艦運作，例如最新的「福特級」。美國海軍曾對兩棲攻擊

艦以及福特級的「輕量化」衍生艦型進行了研究。現役的兩棲攻擊艦已經充分滿足了低成本要求，通常搭載陸戰隊的F-35B和AV-8B II plus，到2030年，後者將完全由F-35B取代。同時，陸戰隊也一直在研究將現有的兩棲攻擊艦轉變成所謂「閃電運輸艦」，這將搭載16~20架F-35B³⁰。一部分美國海軍學者認為，裝備傳統船艦主機的「小型甲板航艦」將比核動力航艦便宜，並且作為更「分散的」力量部署的一部分，有可能更方便於在全球不同地區投射武力。至於可部署性，也讓它們更加靈活，而且只需較少的維護程序。但是，相反的意見則指出，較小的航艦速度可能稍慢，機隊減少且戰力不足，也不能攜帶太多的燃油、武器和儲存物，反而還更依賴空中加油延伸作戰航程。(表1)

美國海軍將在明年(2022)對「輕型航空母艦」的選擇，和「未來超級航空母艦」設計展開正式研究，根據新世紀至今已有的水面艦部署經驗，美國製造輕型航空母艦，好

表1 F-35系列機載雷達系統失效的原因推估

1.敵方防空系統和戰鬥機有更強電能。
2.僅限於X和Ku頻段的操作範圍內。
3.雷達系統散熱不足。
4.雷達電能供應不足。
5.僅在視野範圍之內。
6.探測可靠概率偏低。

(製表：筆者)

29 Valerie Insinna, "These three companies won contracts for DARPA's new Long Shot Drone", Defense News, 2021/2/9, 檢索日期2021/4/28, <https://www.defensenews.com/air/2021/02/09/these-three-companies-got-contracts-for-darpas-new-longshot-drone/>。

30 同《註15》。

像並不讓決策高層太感興趣³¹。無論NGAD採取什麼路線，未來的艦載機聯隊如何編成，從2030年起，對F/A-18E/F和EA-18G的後繼機種(無論載人還是無人機)部署的計畫，都是一項重大的建軍戰略挑戰。

反觀我國值此也正在擘劃第5代裝備與戰力之建構，尤其對於新資料鏈路之部署與防區內「跨代系統」之串聯想定，應以美軍推估之相關場域作為範本，配合既有之各層防空系統，積極因應來自對岸日漸增多的空情干擾與戰區戰術彈道飛彈之威脅反制策略。

參考資料

1. David Szondy, "Project Riot Demonstrates networked missile defense", Military, New Atlas, 2019/9/16, 檢索日期2021/3/27, <https://newatlas.com/military/project-riot-demonstrates-networked-missile-defense/>。
2. David Axe, "Can the U.S. Marine Corps use

F-35s to wage Electronic Warfare? Now the service has retired the last of its EA-6B Prowler radar jamming planes", The National Interest, 2019/4/7, 檢索日期2021/4/20, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/can-us-marine-corps-use-f-35s-wage-electronic-warfare-51197>。

3. Megan Eckstein, "First F-35 Air Wing Ready to Bring 5th -Generation Fighters to Carrier Strike Group", 2021/4/29, 檢索日期2021/5/1, <https://news.usni.org/2021/04/29/first-f-35c-air-wing-ready-to-bring-5th-gen-fighters-to-carrier-strike-group#more-85503>。

作者簡介

耿志雲先生，國防大學復興崗政治研究所中共解放軍研究組100年班軍事學碩士，曾任報社記者、軍事刊物編輯，國際電子戰協會資深會員。



P-3C反潛機(照片提供：葉秀斌)

31 Megan Eckstein, "Light Carrier Studies Already Underway As Navy Considers Role for CVLs in Future Fleet", USNI News, 2021/2/1, 檢索日期2021/3/30, <https://news.usni.org/2021/02/01/light-carrier-studies-already-underway-as-navy-considers-role-for-cvls-in-future-fleet>。