



FOCUS

專題報導

● 作者/Jonathan B. Bell ● 譯者/黃文啟 ● 審者/黃坤銘

反制群集：

無人機作戰之戰略考量與契機

2021年11月10日，荷蘭維德皮爾(Vredepeel)「北約反制無人機系統技術共通作戰能力演習」無人機群集展示課目中，無人機群在地面就起飛位置。(Source: NATO Channel)

Countering Swarms: Strategic Considerations and Opportunities in Drone Warfare

取材/2022年第四季聯合部隊季刊(*Joint Force Quarterly*, 4th Quarter/2022)

自主無人機群集科技發展恐改變戰爭型態，美國應針對戰術戰法、準則、適法性及其他相關問題研擬因應之道。

吾人身為專業人員最重要的職責之一，是清楚思考關於未來武裝衝突的問題。

柏金斯(*David Perkins*)上將¹

美國國防部與美國政府當前面臨的重大國家安全挑戰之

一，便是敵人使用小型無人機系統(Small Unmanned Aircraft Systems, sUAS)。創造無人機戰力成為群集的現有科技，導致多層次且難以處理的各種威脅。本文將探討整備及應處此種俗稱「無人機群集」(Drone

Swarms)日益嚴重挑戰的方法。研討過程涉及各種議題，將會挑戰傳統思維和做法。某些尚未解答的議題，包含小型無人機系統群集損害美國利益的潛在能力及相對應處置方式。目前為止，尚無任何方法可全盤

解決美國面對無人機群集所遭遇的戰略風險。雖然，美國國防部戰略包含反制敵人無人機威脅手段，但卻無法完全應對其遭遇未來武裝無人機群集的各種戰略挑戰，以及必須解決之戰略問題。² 為了消弭此種醞釀中的風險，美國需要一套統合性做法，以解決各種技術、法律和準則層面等議題。

戰略鏈結

目前，美國各種戰略文件可確保與擴展國家利益的全般性需求要項。然而，前述新興威脅及其背後的無人機群集科技卻對美國的布局構成危害。例如，2017年《國家安全戰略》闡明：「我方將維持能嚇阻，並在必要時擊敗任何對手的前進軍事駐防力量。」³ 由於美國在全世界各地部署軍隊，敵人可以運用無人機群集在諸多領域挑戰美國利益；一旦發生此種情況，美軍將無法持續投射武力，以嚇阻並擊敗前述敵人。

除此之外，《國防戰略》也明示戰爭型態不斷變化的本質，未來各方行為者將可快速且輕易地取得科技，包含人工智慧、

自主操作及機器人等。⁴ 2018年，美國前國防部長馬提斯(James Mattis)闡述美國國內對此一方面的憂慮，其認為美國本土已不再是安全庇護所，而美國人民必須預判「我方重要國防、政府及經濟基礎設施」遭遇攻擊的情況。⁵ 無人機群集已構成重大國家安全戰略風險，而美國反制此種新興威脅時會在三大重要領域面對各種挑戰和機會：包含科技、法律及準則。

鋪陳布局：醞釀中的各種趨勢

探討敵人使用小型無人機系統的文獻，顯示其創新方法可能改變戰爭型態。科技革命讓各種行為者有能力運用無人機達成國家目標。近年來，南高加索納戈爾諾·卡拉巴赫地區(Nagorno-Karabakh)主權爭奪戰爭，充分顯示此一現實狀況。亞塞拜然運用小型無人機支援攻擊亞美尼亞的空中與地面部隊，促其在戰場上獲得勝利，而後者其實擁有更龐大的傳統空中與地面部隊，包含戰鬥機及戰車。⁶ 不僅如此，這場戰爭也

展現了運用小型無人機系統的優點，藉相對低廉空中戰力，摧毀防空系統、地面部隊及裝甲車輛。⁷ 此類系統由於體積較小且速度較慢，因此能避開敵軍防空系統，而讓那些較不富裕的國家，得以在傳統衝突中掌握某些潛在軍事優勢。⁸ 此種權力再平衡顯示，某些國家可能在未來衝突中，更常運用小型無人機系統嚇阻敵人、迫使對方做出外交讓步，以及達成國家安全目標。遙控飛機(Remotely Piloted Aircraft)已改變戰爭型態，而小型無人機的創新運用，成本相對低廉且作戰效益高，闡明了戰爭未來演進的方向。

除了小型無人機系統現有應用外，隨著「人工智慧」、「自主操作」及「機器學習」等技術之進展，空中載具的未來發展將更加精密複雜。前述名詞可能讓某些人聯想到科幻作品，諸如2019年《全面攻占：天使救援》(*Angel Has Fallen*)電影，該片內容就是陸基發射器推送的小型螺旋槳無人機攻擊美國總統及特勤局人員等情節。⁹ 然而，軍事大國現在已經開始發



展此種能力。

2020年9月，中國電子科學研究院(The China Academy of Electronics and Information Technology)曾以陸基和空中發射器，測試大量小型無人機系統群集編隊的發射與運用。¹⁰ 除此之外，美海軍所屬海軍研究辦公室(Office of Naval Research)及國防先進研究計畫局(Defense Advanced Research Projects Agency)近年來也進行廣泛測試，以大量無人機彼此協同，執行偵察、編隊飛行，甚或對目標投射彈藥。¹¹ 2020年9月某次演習中，顯示俄羅斯也持續以三種不同型式的小型無人機系統，進行打擊地面目標的整合性編組運用。¹² 雖然那還不算所謂的無人機群集，但某位俄羅斯專家強調：「目前俄羅斯許多研究都是針對無人機載具的群集運用，也針對此類概念進行測試與評估。」¹³



美國前國防部長馬提斯認為科技快速發展，戰爭型態不斷演變，美國本土不再是戰爭淨土，必須預擬重要政經設施遭敵攻擊之應處作為。(Source: USN/Bryan Neal Blair)

無人機群集的民用發展，顯示出這是一種軍民通用科技。無人機能力的需求在過去幾年不斷提高，某些民間企業已經可以操控數百，甚至有時數千架小型無人機系統，進行編隊飛行展示。例如，2018年，英特爾公司就寫下2,066架無人機同時飛行的世界紀錄。英特爾的特定型式無人機在多個場合中飛行，包含2018年冬季奧運及2017年美國「超級盃」足球賽的中場表演。¹⁴ 近年，拜登德拉瓦州(Delaware)勝選慶祝活動中，無人機表演也展現類似無人機群集能力。¹⁵ 可以想像心懷不軌的行為者，可能也會想掌握這些大量無人機的控制權，在各國元首或大量群眾聚集的場合製造災難。2019年9月，伊朗使用純熟的無人機技術，攻擊沙烏地阿拉伯最大原油穩定提煉工廠，而現在更開始實驗大量無人機對50個目標發動同步攻擊。¹⁶ 無人機群集軍事與民間應用發展趨勢，都預告美國權力將面臨挑戰。雖然各方行為者目前尚未運用小型無人機群集攻擊對手，但此種科技應用可能就在不遠的將來。¹⁷

戰略風險及影響

各國審慎考量風險與可能影響後，應著手規劃無人機群集相關應用。某些文獻指出，無人機群集在特定戰略軍事背景下的概念運用。例如，某位戰略專家提出理論，認為無人機群集當中的完全自主式武裝無人機群集(Armed Fully Autonomous Drone Swarms, AFADS)，應該被視為大規模毀滅性武器(Weapons of Mass Destruction, WMD)。¹⁸ 美陸軍某次兵棋推演亦曾應用方法論，驗證無人機群集武器如何在同步攻擊中創造作戰

優勢。¹⁹ 美國國防部指導文件的其中一位撰寫人針對自主系統運用提出以下看法：

「使用完全自主式武器具有高度風險，但某些軍隊可能會認為這是值得承擔的風險。如此行為將會走向一個未知領域……。具敵意的行為者會積極設法在戰時破壞安全行動。而在行動執行時，不會有任何人類在現場介入或改正問題。」²⁰

中共可能願意承擔此種風險，並著手發展不必由人員下達決心的自主性武器。美國前國防部長艾斯培(Mark Esper)曾提到美國及中共在自主性武器發展做法上的區別。²¹ 多位評論家都主張，完全自主性武裝無人機系統具有多種軍事優點，包含靈活打擊掩護戰略設施所用傳統防空武器，或偵察敵方核武及其支援能力。²²

某些國家必須思考自主性武器計畫的戰略影響。某個行為者若使用無人機群集攻擊其對手，可能會意外升高情勢，而某個未預期的人工智慧決策將會無意間引發敵人反擊或外交危機。國際間尚未解決全自主性武器「危機穩定、升高情勢管控及戰爭終結」等面向之戰略考量因素。²³ 許多專家都認同，自主性武器系統在危機或武裝衝突中或許具有作戰優勢，尤其在灰色地帶或混合型戰法方面，但其衍生的戰略風險卻殊值決策者當下深入思考，以避免日後造成災難性後果。全自主性武器系統會增加誤判情勢與誤解訊息的風險，此種風險可能導致國與國及非國家競爭者間之緊張情勢失控。此舉還包含升高使用大規模毀滅性武器之威脅。²⁴ 使用自主性無人機群集必然

伴隨某些風險及後果，但這些能力卻讓某些行為者獲得達成國家目標的軍事與戰略選項。半自主無人機群集武器，透過人工決策，同樣也對敵人造成某些風險，只不過風險相對較低。

重要條件

重要條件與分析範圍可以釐清某些錯誤概念。分析家勒晁(Irving Lachow)在《原子科學家公報》(*Bulletin of the Atomic Scientists*)所刊文章中，定義群集式無人機為「分散性共同運作系統……是能以群體方式、在有限人類介入下移動與行動的成群小型無人機載具」。²⁵ 群集無人機另一個定義明確闡述其軍用途：「大量分散之個體或小型群體，嚴密協調遂行整體戰鬥。」²⁶ 美國國防部3000.09號指示文件闡明，自主性武器系統「一旦啟動後，毋須操作人員進一步介入，即可選擇與接戰目標」。²⁷ 美國國家學院(National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine)界定無人機群集為40架(含)以上小型無人機系統形成之群體，群體內成員各自作業，不知道全盤任務，但會彼此通聯，而每一個小型無人機系統「會維持自己在群體中的相對位置」。²⁸ 人工智慧、自主及機器學習等應用的相關創新，以及小型無人機系統發展，都被美國國防部律定為1、2、3群組，其在執行情監偵及主動攻擊等任務都可以整體行動。²⁹ 此種威脅在本文以下內容都稱之為無人機群集。

技術可行性

美國國防部與相關國家機關負責捍衛美國本



士，而在反制無人機群集過程中將會面臨三個主要領域的挑戰和機會。首先，就科技面而言，美國國防部的作為置重點於實質解決方案。2021會計年度，美國國防部最初規劃「耗資至少4億400萬美元，進行反制無人機系統(Counter-UAS, C-UAS)相關研究與發展，以及8,300萬美元進行反制無人機系統相關採購」。³⁰ 美國各軍種都在尋求各式各樣尖端科技解決方案，以偵測、追蹤、辨別及摧毀目標。偵測方面的實體解決方案，包含雷達、光電、紅外線及聲波感測器；所有方式都因為小型無人機表面積及相對速度，而在效能上有所侷限。³¹ 另一項技術涉及偵測操作人員控制無人機所需之無線電指揮信號。³² 摧毀機制包含干

擾、偽冒、槍砲、捕捉網、導能和標準型防空系統等方法。³³ 然而，現有只能帶給操作人員好壞參半的結果，且主要都是鎖定未達群集標準的少量無人機。³⁴ 其他方法(包含美國國防部和美空軍正在作戰環境中實測的高能微波武器等)雖然較能有效反制無人機群集，但專利爭議卻限制其效能。³⁵ 可以說，美國國防部雖然可以在較低基礎建設曝光率的條件下發展更先進高能微波武器，諸如李奧尼達斯(Leonidas)系統，但現有研究仍僅限於非機密資訊來源。³⁶

美國國防部反制小型無人機系統(C-sUAS)戰略明確指出無人機群集將改變戰爭型態，但卻沒有實質解決科技風險。³⁷ 不久將來，現有科技將

2022年8月14日，美陸軍第37步兵旅級戰鬥部隊旅部暨旅部連史卓曼(Noah Straman)上士，在密西根州格雷林營(Camp Grayling)北方打擊演習(Operation Northern Strike)中發射無人機防衛系統。(Source: US Army/Benhur Ayettey)



面臨重大限制——反制無人機群集，這也是國防產業的一大挑戰。不僅如此，美國國防部可能未將重點放在無人機群集這項新興威脅。相反地，美國國防發展與武獲資料顯示，美國將重點置於反制現有小型無人機系統，並籌獲相應感測器與武器系統。美國國防部2021會計年度反制無人機系統預算，就是近期發展現有裝備預算成本的指標，但可能沒有納入因應未來需求的科技創新經費。若然，可能事後發現效果不彰。另外，新冠疫情期間及後疫情時期，美國國防部預算下滑，將會產生重大風險。綜觀某些國家無人機群集科技進展，顯示群集技術成熟速度，遠超出反制相應威脅的裝備研發進度。

觀察家指出，消弭日增的威脅需要快速創新，但現有國防工業基礎卻在過程中遭遇障礙，包含軍隊文化及全新商用科技測試做法。³⁸ 快速創新過程常見問題來自於商業產品採購，而智慧財產權儼然成為系統運用時的一大阻礙。企業使用的裝備或軟體不必然能夠與軍規裝備互容，導致前述問題

雪上加霜，亦使反制小型無人機系統操作人員無法獲得摧毀目標所需之即時情資。³⁹ 軍隊文化不見得支持創新，甚至可能阻礙快速變革。雖然美國國防部現有反制小型無人機系統戰略已明確點出無人機群集威脅，但卻沒有完整說明美國國防部如何克服科技風險，而過程中必然花費昂貴成本，創新過程也會面臨阻礙。

適法性

反制小型無人機系統戰略第二個風險來源，在於拼湊式法律限制條件的種種漏洞，尤其是在本土防衛方面。⁴⁰ 現行法律提供美國公民在本土的種種保護，也阻礙美國國防部在軍事設施反制無人機威脅方面的防護能力。無人機群集加劇此類法律限制所造成的風險，因為其威脅能力和不易偵測等限制因素擴大影響範圍。反制小型無人機系統戰略明確主張，美國國防部重要相關單位必須和各方夥伴合作才能取得成功。⁴¹ 因此，應藉此重要主張敦促美國國會立法，解決並放寬在美國本土操作反制無人機裝

備權限。

反制小型無人機系統戰略明確點出，在美國本土使用反制無人機武器所遭遇之重大法律挑戰，也指陳「眾多既有法律條文與聯邦行政規則並非針對解決小型無人機系統威脅而設計，而科技不斷加速變化，執法當局更難隨機應變」。⁴² 現有法律未授權即時偵知潛在無人機威脅，因為這些威脅可能來自軍事設施外。依《美國法典》第10編第130i節，美國國防部長及三軍特定人員得採取所有動能或非動能行動，以「癱瘓、損壞或摧毀」對「受防護設施或資產」構成威脅之無人機系統。⁴³ 此種法律限制條件，使得操作人員根本無法在潛在無人機威脅抵達目標前加以反制。

雖然，《美國法典》第10編第130i節授權美國國防部「毋須事先同意，以截情或有線、語音或電子通信管道手段……偵知、辨識、監控及追蹤無人機」，但卻未明確律定此種權限是否適用於基地範圍之外。若是如此，則其將可提供反制人員戰術優勢。⁴⁴ 對於美國國防部蒐集管轄範圍外無人機相關



資訊，是否違反情報監督指示，此項新授權也未明確律定。除此之外，蒐集潛在無人機群集威脅情資，可能存在更大違法風險。偵知目標也必須判別敵友，同時也要判讀合法民用航空器特定資訊，依照現行授權，過程必然問題重重。

依據反制小型無人機系統戰略，美國國防部遵循《美國法典》第10編第130i節授權，必須採取多邊行動並與執法機關分享威脅資訊。⁴⁵ 其中一種可行方案是，在「國家安全特殊狀況」(National Security Special Events, NSSEs)下，美國聯邦調查局可在未獲授權情況下反制無人機。2018年，

《預防新興威脅法》(*The Preventing Emerging Threats Act*)授權美國國土安全部和司法部，「依據威脅評估，消弭無人航空器……對於設施或資產安全所構成之威脅」。⁴⁶ 在近期個案中，聯邦調查局與美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)合作，在2020會計年度成功反制超過200架無人機，包含2020年超級盃美式足球賽、2019年世界巡迴賽、2020年玫瑰盃(Rose Bowl)足球賽、華府特區國會獨立日音樂會(A Capitol Fourth)及紐約市跨年慶祝活動等事件。⁴⁷ 聯邦調查局也攜手國土安全部、喬治亞州及地方執法機關，在2019年超級盃美式足球賽，應處54次無人機侵擾，並在比賽場館周邊暫時飛行管制期間，沒收6架無人機。⁴⁸

2018年《預防新興威脅法》條文內容非常近似《美國法典》第10編第130i節授權，但仍未明確律定美國國土安全部、司法部及國防部如何實際進行合作。首先，「國家安全特殊狀況」屬於暫時性授權，而若無永久授權，各機關無法透過先期

協調獲得早期預警情資。敵人在「國家安全特殊狀況」期間，很可能不會對美國國防部所屬設施發動無人機群集攻擊行動。第二，假如國防部發現其管轄範圍外出現威脅，隨即通報國土安全部或司法部，聯邦、各州或地方執法機關幾無可能具備攔截無人機群集威脅的時間及能力。

地方執法機關與民間團體反制無人機的權限甚至更小。依據國土安全部、司法部、運輸部及聯邦傳播委員會(Federal Communications Commission, FCC)公告，非聯邦公共機關或個人使用反制無人機科技是違反聯邦法的行為。法律將無人機界定為航空器，而任何擾亂或摧毀無人機的手段，均違反《航空器破壞法案》(*Aircraft Sabotage Act*)和《航空器隱私法》(*Aircraft Piracy Act*)等法律。⁴⁹ 使用無線電射頻偵測的人，依據其是否有



2022年3月30日，美陸戰隊第3陸戰後勤大隊第9工兵支援營濱海工兵偵察隊戰鬥工兵貝拉斯(Chance Bellas)下士，在菲律賓克拉維里亞菲美肩並肩演習(Balikatan 22)中，組裝蒸汽55式(Vapor 55)小型無人機系統。

(Source: USMC/Melanye Martinez)

能力記錄或攔截無人機與操控者間的電子通信，可能面對「筆式紀錄器與誘捕和追蹤」(Pen/Trap Statute)(《美國法典》第十八編第3121-3127節)和「監聽」(Wiretap Act)(《美國法典》第十八編第2510節)相關訴訟。⁵⁰

最後，間接效應可能會造成地方執法機關和民間團體在反制無人機威脅前思考再三。奈特(Jason Knight)曾提出一份關於警察機關在城市地區執法考量因素的分析報告，並列舉多個反制無人機科技干擾合法地面和空中活動的例證。⁵¹ 現有權限並無周延法律基礎，亦未授權美國國防部反制無人機群集所需之早期預警能力。雖然反制人員可透過多邊協調，在海外行動或緊急情況下取得優勢，但在美國本土卻非如此，敵人可輕易使用無人機群集攻擊重要基礎設施，因為美國國防部礙於法律限制，做起事來綁手綁腳。

準則適用性

對反制小型無人機系統戰略十分重要卻遭忽視的最後障礙，來自於能否有效運用反制無人機裝備。這份戰略文件明確指陳相關準則必須隨科技發展修訂，但僅闡明作業需求仍未解決計畫過程之重大挑戰——誰該操作裝備。⁵² 現在確認準則需求可以消除未來的能力缺口。在防衛空軍基地、抵禦未來無人機群集威脅方面，美陸軍應扮演更重大的角色。

運用反制無人機能力的特色之一，在於所有領域都要通力合作。具體而言，鎖定並消弭空中敵人的巨大挑戰，必須分由三大主要任務領域進行明確評估：包含防空(Air Defense)、兵力防護

(Force Protection)及空域管制(Airspace Control)。明確律定這些任務領域的運用原則，對於反制無人機戰術戰略運用的計畫作為具有高度價值。美軍聯戰準則係依據現有兵力結構(Force Structure)與職掌，協助解決各種複雜問題。⁵³ 針對反制無人機群集方式的計畫作為，需要針對聯戰準則所律定的角色與職掌進行深入評估。

準則必須包含人員訓練，滿足未來裝備操作需求，並在所有領域發揮戰力。空中領域操作人員必須瞭解防空、兵力防護及空域管制專業知識。設計出能與科技及裝備同步並進的兵力結構，並提供相關資源，才能更有效嚇阻與反制高層次威脅。此種發展後續可促成反制無人機群集準則的權威性指導，並成為美國國防部專責主管機關「聯合反制小型無人機系統辦公室」(Joint C-sUAS Office, JCO)職掌的一部分。⁵⁴ 除此之外，「聯合反制小型無人機系統辦公室」可「協調反制小型無人機系統聯戰概念及聯戰準則發展」，並律定各軍種其他領域職掌。⁵⁵ 然而，此種責任劃分，未能考量美國國防部所屬各軍種在空域管制、兵力防護及防空等方面，因應無人機群集威脅時所面臨的挑戰。反制地面威脅的兵力防護軍事專業參謀，並不具備在反制空中威脅的同時，避免誤擊友機的必要知識。針對這些人員給予空域環境、電磁頻譜、太空作戰及氣象等相關訓練，將可培養其對反制無人機群集更有效的應用能力。防空火網重疊(尤其是美陸軍和空軍)可以彌補準則上的不足。然而，各軍種卻依賴兵力防護專責人員從事這項工作——這對美軍造成各種風險。



基於過往戰爭經驗，美軍將領將防空武器投入傳統任務，削弱戰略與作戰設施(如希肯空軍基地)防空火網，而空軍與陸軍迄今仍為區域及要點防空任務分配爭論不休。(Source: Shutterstock)

準則探討也包含針對角色與任務的論證，尤其是針對空軍基地的防空作為。越戰及伊拉克戰爭的經驗，迫使高階軍事指揮官及各軍種將戰力投入傳統任務，但卻放空支持戰略和作戰目標所需空軍基地的防護作為。⁵⁶ 第二次世界大戰結束後，美陸軍與空軍為了在區域與要點防空任務所擔任的角色爭論至今。2020年，智庫蘭德公司一份研究中點出目前癥結：

今日，美陸軍負責空軍基地及其他固定設施的要點防空與

飛彈防禦任務，但陸空兩大軍種長期忽視，導致戰力和能量不足……。想當然爾，陸軍領導階層將支援戰術用兵單位所需機動短程飛彈視為優先防護目標，進而忽視固定設施防護作為。⁵⁷

在美陸軍將充分資源優先用於海外及美國本土的主要空軍作戰基地防空戰力前，戰略與作戰目標遭無人機群集襲擾的風險將日益升高。不僅如此，美空軍很可能在缺乏準則規範的情況下，持續推動和採

購反制小型無人機系統戰力。空軍或許能在戰術防空上取得主導權，但此舉卻與「聯合反制小型無人機系統辦公室」的要求——避免重複投資與提高資源運用效率——背道而馳。⁵⁸ 同樣地，其他軍種也可能持續採購裝備並進行驗證，但此舉在缺乏跨領域、跨部門協調的情況下，可能無法發揮最大功效。

蘭德公司的報告也詳細說明美陸軍與空軍在防空方面的職掌未能相互配合。值得一提的是，表列內容並未顯示美國「海軍設施指揮部」(Navy Installations Command)指揮官派遣警衛長(Master-at-Arms)負責岸基反制小型無人機系統戰力，此舉與艦艇防空兵力結構與運用優序不一致。2020年，美國國會一份研究報告針對上述論證提出質疑：「目前規劃的既有短程防空兵力結構和戰力，是否足以因應未來挑戰？」⁵⁹ 這份報告指出，美陸軍規劃新增的18個防空營，分屬常備及後備部隊，此舉可能無法滿足支援「歐洲嚇阻倡議」(European Deterrence Initiative)

及「太平洋嚇阻倡議」(Pacific Deterrence Initiative)陸軍部隊的防空需求。⁶⁰ 這些戰力雖然包含反制小型無人機系統威脅，但卻未包含授權防衛重要美空軍設施及主要作戰基地的預想情況。雖然聯戰準則3-0《作戰》(Operations)中，要求整合攻防戰力應對敵無人機，以達成空優與兵力防護之目標，但卻未明確律定各軍種的角色與任務。⁶¹ 如此一來，準則不明確將導致短程防空體系缺乏資源，無法反制未來無人機群集產生的重大影響。

未來科技快速發展，各方行為者運用無人機群集可能性提高，必須重新檢視準則與各軍種職掌。事實上，美空軍參謀長

就曾敦促國防部部長辦公室，要求聯參重新檢視各軍種職掌與任務，律定諸如遠距精準火力及敵火下後勤作業等聯戰概念的主導機關。⁶² 前述兩大概念都與保護戰略設施以抵禦潛在無人機群集攻擊息息相關。不僅如此，美國國防部未下達準則指導，可能也顯示出確有必要評估，文人機關跨部會間運用類似能力之概念和方法。聯合反制小型無人機系統辦公室及國防部戰略可提供後續準則發展之基礎，但仍須明確律定各軍種職掌，整合跨軍種資源。

建議事項

美國國防部策擬反制無人機

群集做法時，必須考量科技快速發展風險、敵人在民間和國防部重要基礎設施防護可資運用的法律漏洞，以及防空、空域管制與戰力保存方面既存的準則挑戰等問題。如同2018年《國防戰略》所述，美國本土已不再是安全庇護所，且目前仍是敵方無人機群集的目標，而無人機群集未來還可能配備洲際打擊能力。⁶³

敵方武器發展趨勢必須成為國防產業界尋求相對低廉、快速研發且運用人工智慧技術解決方案的動力。原意為尋求導入未來科技的「第三波抵銷戰略」(The Third Offset Strategy)，在消弭此一風險方面提供有效做法。這套戰略在發掘群

附表：防空方面明確律定軍種職掌之正反案例

	範例 1：艦隊海上防空		範例 2：空軍基地陸基防空	
	美海軍	美陸戰隊	美陸軍	美空軍
明確律定軍種職掌？	是	在海上與海軍共同遂行	是	否
軍種遭受最大風險？	是	在海上與海軍共同分擔	否	是
軍種優先運用資源？	是	否	否	提升中
專用兵力結構	是	在海上時	否	否
	正例		反例	
Source: Alan J. Vick et al., Air Base Defense: Rethinking Army and Air Force Roles and Functions (Santa Monica, CA: RAND, 2020), 99, available at < https://doi.org/10.7249/rr4368 >.				



集無人機、極音速武器、人工智慧、人機組合等科技，並以最佳組合取得戰鬥優勢，但卻非完全聚焦在物資與裝備整備。⁶⁴ 相反地，其考量如何以最佳方式將人類創意與科技精準融合。反制無人機群集時，人機組合概念可以強化防空優勢。解決方案應包含一系列感測器，能完全整合人工智慧軟體，更快、更精準辨識潛在目標。在美陸軍訓練暨準則指揮部525-3-1號手冊《美陸軍2028年多領域作戰》(The U.S. Army in Multi-Domain Operations 2028)中，前述特質也將人工智慧和高速數據處理列為需求事項，以改善「人類決策速度與精確度」。⁶⁵

此一人機科技方面值得投資的項目，包含使用人工智慧自主性群集無人機，運用纏鬥方式消弭或摧毀敵人無人機群集。2017年，喬治亞理工大學(Georgia Tech University)曾和美國海軍研究院(Naval Postgraduate School)合作進行此類實驗。⁶⁶ 除此之外，美國國防部低單發成本(Low-Cost-Per-Shot)研發戰力也包含非殺傷性導能武器，諸如戰術高功率微波作戰反應器(Tactical High-Power Microwave Operational Responder, THOR)及限航空域混合防禦(Hybrid Defense of Restricted Airspace, HyDRA)計畫等。⁶⁷ 戰術高功率微波作戰反應器是反制無人機群集的利器，因為相較於限航空域混合防禦雷射裝置，前述反應器擁有較大涵蓋面積。然而，若能同步搭配人工智慧與人員之整合指管介面，該系統就能以比標準防空戰力更低的成本，發揮更大效能。

指管能力必須加速目標獲得、鏈結感測器與攻擊機制，並讓操作手快速選擇有效武器。近年報

導指出，聯合反制小型無人機系統辦公室正嘗試獲得這些能力，且可能要求各軍種發展自身指管系統，最終將之與美陸軍「前進區域防空指管」(Forward Area Air Defense Command and Control)系統相結合的目標。⁶⁸ 其他指管系統包含美海軍「反制遙控模型航空器整體防空網路」(Counter-Remote Control Model Aircraft Integrated Air Defense Network, CORIAN)戰力及美空軍「多重環境領域無人系統應用功能指管」(Multi-Environmental Domain Unmanned Systems Application Command and Control)系統。⁶⁹ 然而，這些特定系統目前似乎仍然無法結合「先進戰場管理系統」(Advanced Battle Management System)或擬議中的「聯合全領域指管系統」(Joint All-Domain Command and Control, JADC2)架構。近期與剛推動的某些作為，顯示目前北大西洋公約組織有計畫將感測器與射擊裝置結合，運用「聯合全領域指管系統」反制無人機群集。⁷⁰ 未來「聯合全領域指管系統」架構在概念上可以幫助操作人員，依自身目的接管敵軍無人機群集網路。⁷¹ 不論這項創新為何，「第三波抵銷戰略」提供反制未來殺傷性自主無人機群集的寶貴作法。

追求各自不同和軍種專用指管能力而完全不考慮未來無人機群集威脅或人工智慧發展，只會浪費時間和納稅人的血汗錢。相對之下，美國國防部應將其將2021會計年度已經開發完成的反制無人機群集指管能力，快速與聯合全領域指管架構整合。⁷² 美國國會指派國防部長評估整體防空與飛彈防禦指管系統(包含反制小型無人機系統戰力)，判斷其是否能與即將問世的「聯合全領域



2021年4月18日，美海軍第21直升機海上作戰中隊直升機機組人員艾瑞斯(Daniel Ayres)，在太平洋參與艾塞克斯號兩棲突擊艦實彈演習時，使用MH-60S海鷹直升機GAU-21型50機槍射擊無人機目標。

(Source: USN/Sang Kim)

指管系統」相容。⁷³ 此一框架符合美國國會所希望的低操作與維持成本之自主或半自主能力。⁷⁴ 雖然共通作業能力、智慧財產權、數據管理及資訊保障仍然存在諸多挑戰，但將反制小型無人機系統的指管系統與「聯合全領域指管系統」相整合，形塑快速擊殺鏈，且成本也可能較低。聯合反制小型無人機系統辦公室主任甘尼(Sean Gainey)少將近期表示，此種開放式架構是日後國家安全的仙丹良藥。⁷⁵

第二，在美國本土既有法律運作框架下，美國國防部應爭取更多固定陣地的偵搜權限，以防衛重要基礎設施。美國國會在應變任務階段與承平時期，應給予國防部長更大權力，包含賦予操作人員辨識基地範圍外可能目標。操作人員也獲得法律授權，以利盡速通知地方及聯邦執法機關。

所幸，美國聯邦航空總署正在推動數項反制敵方無人機的倡議。這些計畫包含將無人機納入全國空域系統以判別敵我。⁷⁶ 美國國防部應積極鼓勵聯邦航空總署及太空總署持續推動各自的無人機產業倡議，包含「無人航空器系統交通管理」(Unmanned Aircraft System Traffic Management)研究案，以「發掘有助管理低空未受控制無人機行動的服務、角色與責任、資訊架構、數據交換協定、軟體功能、基礎設施，以及績效要求」。⁷⁷ 權限擴大、能力提升後，將可縮小民間與軍事管轄權的法律落差，以保護全國基礎建設及重要國防部設施。

最後，美國國防部應積極透過兵棋推演及演習精進準則，以決定美空軍基地防空體系中最適切的角色與職掌。無人機科技日益成熟，美軍部隊未來將面臨更複雜的問題，及早建立正確的兵力結構將可更有效地迎接這項挑戰。及早接受必要訓練，適切進行資源分配，以符合美國國會高效低廉裝備之要求。如蘭德公司研究報告所述，沒有任何單一行動方案能提供解決方式，必須同時採取多個行動方案。然而，重新調整各方職掌是成功關鍵。⁷⁸ 發展適切的聯戰準則，可以奠定風險導向反制無人機群集的基礎，同時避免重蹈過去的戰略錯誤。

作者簡介

Jonathan B. Bell上校現任關島馬里亞納聯合軍區(Joint Region Mariana)作訓處處長。

Reprint from *Joint Force Quarterly* with permission.



註釋

1. U.S. Army Training and Doctrine Command (TRADOC) Pamphlet 525-3-1, *The U.S. Army Operating Concept: Win in a Complex World* (Fort Eustis, VA: TRADOC, October 31, 2014), iii, available at <<https://info.publicintellgence.net/USArmyWinComplexWorld.pdf>>.
2. “Pentagon’s Counter Small Drone Strategy,” *USNI News*, January 8, 2021, available at <<https://news.usni.org/2021/01/08/pentagons-counter-small-drone-strategy>>.
3. *National Security Strategy of the United States of America* (Washington, DC: The White House, December 2017), 47, available at <<https://trump-whitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2017/12/NSS-Final-12-18-2017-0905.pdf>>.
4. *Summary of the National Defense Strategy of the United States of America: Sharpening the American Military’s Competitive Edge* (Washington, DC: Department of Defense, 2018), 3, available at <<https://dod.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf>>.
5. Ibid., 3.
6. Peter Vincent Pry, “Armenia’s ‘Pearl Harbor’ Will Be a Case Study in Technological Surprise,” *Washington Times*, November 18, 2020, available at <https://www.washington-times.com/news/2020/nov/18/armenias-pearl-harbor-will-be-a-case-study-in-tech/?utm_source=RSS_Feed&utm_medium=RSS>.
7. Robyn Dixon, “Azerbaijan’s Drones Owned the Battlefield in Nagorno-Karabakh—and Showed Future of Warfare,” *Washington Post*, November 11, 2020, available at <https://www.washingtonpost.com/cdn.amp-project.org/c/s/www.washingtonpost.com/world/europe/nagorno-karabakh-drones-azerbaijan-armenia/2020/11/11/441bcbd2-193d-11eb-8bda-814ca56e138b_story.html?outputType=amp>.
8. Ibid.
9. *Angel Has Fallen*, directed by Ric Roman Waugh (Santa Monica, CA: Lionsgate, August 23, 2019).
10. Joseph Trevithick, “China Conducts Test of Massive Suicide Drone Swarm Launched from a Box on a Truck,” *The Warzone*, October 14, 2020, available at <<https://www.thedrive.com/the-war-zone/37062/china-conducts-test-of-massive-suicide-drone-swarm-launched-from-a-box-on-a-truck>>.
11. Michael Safi, “Are Drone Swarms the Future of Aerial Warfare?” *The Guardian*, December 4, 2019, available at <<https://www.theguardian.com/news/2019/dec/04/are-drone-swarms-the-future-of-aerial-warfare>>; Thomas McMullan, “How Swarming Drones Will Change Warfare,” *BBC News*, March 16, 2019, available at <<https://www.bbc.com/news/technology-47555588>>; Trevithick, “China Conducts Test of Massive Suicide Drone Swarm.”
12. “Swarms of Drones Used in Kavkaz-2020 Exercise First Time Against Enemy Forces,” *TASS*, September 24, 2020, available at <<https://tass.com/defense/1204513>>.
13. David Hambling, “Russia Uses ‘Swarm of Drones’ in Military Exercise for the First Time,” *Forbes*, September 24, 2020, available at <<https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2020/09/24/russia-uses-swarm-of-drones-in-military-exercise-for-the-first-time/?sh=2b5364f47712>>.
14. Andrew Tarantola, “The Drones That Announced Joe Biden as the 46th President-Elect,” *Engadget*, available at <<https://www.engadget.com/the-drones-that-announced-joe-biden-as-the-46th-president-elect-150014496.html>>.
15. Ibid.
16. Michael Rubin, *A Short History of the Iranian Drone Program* (Washington, DC: American Enterprise Institute, August 26, 2020), 9, available at <<https://www.aei.org/research-products/report/a-short-history-of-the-iranian-drone-program/>>.
17. 大量無人機與無人機群集不同。本項計畫置重點於《原子科學家公報》重要條件段落的無人機群集定義。Travis Kneen, *Defining Unmanned Aerial Systems (UAS) Swarms*, DSIAC-2020-1208 (Belcamp, MD: Defense Systems

- Information Analysis Center, August 2019), available at <https://www.dsiac.org/wp-content/uploads/2020/05/dsiac-2191004.pdf> 上述文獻說明兩者差異。大體來說，無人機群集科技趨勢顯示，國家行為者若具備先進演算法基礎，則較可能運用無人機群集對抗敵人。
18. Zachary Kallenborn, *Are Drone Swarms Weapons of Mass Destruction?* Future Warfare Series No. 60 (Maxwell Air Force Base, AL: U.S. Air Force Center for Strategic Deterrence Studies, May 6, 2020), 27, available at <https://permanent.fdlp.gov/gpo139494/MONO60%20Drone%20Swarms%20as%20WMD.pdf>.
 19. Sean M. Williams, *Swarm Weapons: Demonstrating a Swarm Intelligent Algorithm for Parallel Attack* (Fort Leavenworth, KS: School of Advanced Military Studies, 2018), 22-23, available at <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1071535>.
 20. Paul Scharre, *Army of None: Autonomous Weapons and the Future of War* (New York: W.W. Norton and Co., 2018), 194-195.
 21. Joe Gould, "AI's Dogfight Triumph a Step Toward Human-Machine Teaming," *Defense News*, September 10, 2020, available at <https://www.defensenews.com/congress/2020/09/10/ais-dogfight-triumph-a-step-toward-human-machine-teaming/>.
 22. James Johnson, "Artificial Intelligence, Drone Swarming and Escalation Risks in Future Warfare," *The RUSI Journal* 165, no. 2 (2020), 1, 5, available at <https://doi.org/10.1080/03071847.2020.1752026>.
 23. Scharre, *Army of None*, 351.
 24. Burgess Laird, "The Risks of Autonomous Weapons Systems for Crisis Stability and Conflict Escalation in Future U.S.-Russia Confrontations," *The RAND Blog*, June 3, 2020, available at <https://www.rand.org/blog/2020/06/the-risks-of-autonomous-weapons-systems-for-crisis.html>.
 25. Irving Lachow, "The Upside and Downside of Swarming Drones," *Bulletin of the Atomic Scientists* 73, no. 2 (2017), 96, available at <https://doi.org/10.1080/00963402.2017.1290879>.
 26. Paul Scharre, *Robotics on the Battlefield Part II: The Coming Swarm* (Washington, DC: Center for a New American Security, 2014), 26, available at <https://www.cnas.org/publications/reports/robotics-on-the-battlefield-part-ii-the-coming-swarm>.
 27. Department of Defense (DOD) Directive 3000.09, *Autonomy in Weapon Systems* (Washington, DC: DOD, November 21, 2012, Incorporating Change 1, May 8, 2017), 13, available at <https://www.esd.whs.mil/portals/54/documents/dd/issuances/dodd/300009p.pdf>.
 28. Kneen, *Defining Unmanned Aerial Systems (UAS) Swarms*.
 29. *Counter-Small Unmanned Aircraft Systems Strategy* (Washington, DC: DOD, January 2021), 26, 29, available at <https://media.defense.gov/2021/jan/07/2002561080/-1/-1/1/departement-of-defense-counter-small-unmanned-aircraft-systems-strategy.pdf>.
 30. John R. Hoehn and Kelley M. Sayler, "Department of Defense Counter-Unmanned Aircraft Systems," IF11426, Congressional Research Service, Updated January 11, 2021, 1, available at <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11426/9>.
 31. Ibid.
 32. Ibid.
 33. Ibid.
 34. 作者從2017年1月至2020年6月擔任安全部隊中心空中作戰處處長兼安全部隊中隊長的经验。Jason Knight, "Countering Unmanned Aircraft Systems" (master's thesis, Naval Postgraduate School, 2019), 54-59, available at <https://calhoun.nps.edu/handle/10945/63997>.
 35. Jared Keller, "The Air Force Has Deployed Its Drone-Killing Microwave Weapon to Africa," *Task and Purpose*, December 18, 2020, available at <https://taskandpurpose.com/military-tech/air-force-microwave-weapon-africa/>.
 36. "Counter Electronics: Swarm Defeat," *Epirus*, available at <https://www.epirusinc.com/solutions/counter-uas>.
 37. *Counter-Small Unmanned Aircraft Systems Strategy*, 6.
 38. David McCormick and James Cunningham, "America's Military Needs an Innovation Overhaul," *Fast Company*, December 8, 2020, available



- at <<https://www.fastcompany.com/90580251/americas-military-needs-an-innovation-overhaul?fbclid=IwAR1Clu2FFDthFUlnP4Kbv4T34Y4gi0SUnxGaF67cTFPoezrhU2F1MdagXNg>>; Elizabeth Vaughan Moyer, "Wanted: Innovation Tools for Air Force Leaders," *War Room*, December 3, 2020, available at <<https://warroom.armywarcollege.edu/articles/innovation-tools/>>.
39. 作者個人經驗; Eric Lofgren, "Contract Challenges for Modular Open Systems," *Acquisition Talk*, May 16, 2020, available at <<https://acquisitiontalk.com/2020/05/contract-challenges-for-modular-open-systems/>>.
40. *Counter-Small Unmanned Aircraft Systems Strategy*, 8-9.
41. *Ibid.*, 4-5.
42. *Ibid.*, 8-9.
43. "Protection of Certain Facilities and Assets from Unmanned Aircraft," 10 U.S. Code § 130i (2016).
44. *Ibid.*
45. *Counter-Small Unmanned Aircraft Systems Strategy*, 16.
46. *Preventing Emerging Threats Act of 2018*, S. 2836, 115th Cong., 2nd sess. (2018), available at <<https://www.congress.gov/bill/115th-congress/senate-bill/2836>>.
47. "Department of Justice Forecasts an Increase in Counter Unmanned Aerial Systems (C-UAS) Protection Activities and Criminal Enforcement Actions," Department of Justice, October 13, 2020, available at <<https://www.justice.gov/opa/pr/departmen-justice-forecasts-increase-counter-unmanned-aerial-systems-c-uas-protection>>.
48. Anna Giaritelli, "Super Bowl Saw 54 Drone Incursions: Homeland Security," *Washington Examiner*, April 10, 2019, available at <<https://www.washingtonexaminer.com/news/super-bowl-saw-54-drone-incursions-homeland-security>>; Sean O'Kane, "Drones Are Already Being Confiscated Near the Super Bowl," *The Verge*, February 1, 2019, available at <<https://www.theverge.com/2019/2/1/18207081/super-bowl-2019-drones-atlanta-fbi>>.
49. "Advisory on the Application of Federal Laws to the Acquisition and Use of Technology to Detect and Mitigate Unmanned Aircraft Systems," Department of Homeland Security, Department of Justice, Department of Transportation, Federal Communications Commission, August 2020, 6, available at <<https://www.dhs.gov/publication/interagency-legal-advisory-uas-detection-and-mitigation-technologies>>.
50. *Ibid.*, 2-3.
51. Knight, "Countering Unmanned Aircraft Systems," 60-61.
52. *Counter-Small Unmanned Aircraft Systems Strategy*, 4.
53. Joint Publication (JP) 1, *Doctrine for the Armed Forces of the United States* (Washington, DC: The Joint Staff, March 25, 2013, Incorporating Change 1, July 12, 2017), VI-3, available at <https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jpl_ch1.pdf>.
54. *Counter-Small Unmanned Aircraft Systems Strategy*; DOD Directive 3800.01, *DOD Executive Agent for Counter Small Unmanned Aircraft Systems for Unmanned Aircraft Groups 1, 2, and 3* (Washington, DC: DOD, February 21, 2020), 10.
55. *Counter-Small Unmanned Aircraft Systems Strategy*, 28.
56. Alan J. Vick et al., *Air Base Defense: Rethinking Army and Air Force Roles and Functions* (Santa Monica, CA: RAND, 2020), 65, 91, available at <<https://doi.org/10.7249/rr4368>>.
57. *Ibid.*, 97.
58. *Counter-Small Unmanned Aircraft Systems Strategy*.
59. Andrew Feickert, *U.S. Army Short-Range Air Defense Force Structure and Selected Programs: Background and Issues for Congress*, R46463 (Washington, DC: Congressional Research Service, July 23, 2020), 24, available at <<https://fas.org/sgp/crs/weapons/R46463.pdf>>.
60. *Ibid.*, 25.
61. JP 3-0, *Operations* (Washington, DC: The Joint Staff, January 17, 2017, Incorporating Change 1, October 22, 2018), III-30.
62. Theresa Hitchens, "Roles & Missions Scrub Needed for All Domain Ops: CSAF Brown," *Breaking Defense*, February 23, 2021, available at <<https://breakingdefense.com/2021/02/>>.

- roles-missions-scrub-needed-for-all-domain-ops-csaf-brown/amp/>.
63. T.X. Hammes, "The Future of Warfare: Small, Many, Smart vs. Few and Exquisite?" *War on the Rocks*, July 16, 2014, available at <<https://warontherocks.com/2014/07/the-future-of-warfare-small-many-smart-vs-few-exquisite/>>.
 64. Theodore R. Johnson, "Will the Department of Defense Invest in People or Technology?" *The Atlantic*, November 29, 2016, available at <<https://www.theatlantic.com/politics/archive/2016/11/trump-military-third-offset-strategy/508964/>>.
 65. TRADOC Pamphlet 525-3-1, *The U.S. Army in Multi-Domain Operations 2028* (Fort Eustis, VA: TRADOC, December 6, 2018), 20, available at <<https://adminpubs.tradoc.army.mil/pamphlets/TP525-3-1.pdf>>.
 66. John Toon, "A Swarm First: Dogfighting," *Georgia Tech Research Horizons*, no. 1 (2017), available at <<https://rh.gatech.edu/front-office/swarm-first-dogfighting>>; 請參見 Paul Scharre, "Counter-Swarm: A Guide to Defeating Robotic Swarms," *War on the Rocks*, March 31, 2015, available at <<https://warontherocks.com/2015/03/counter-swarm-a-guide-to-defeating-robotic-swarms/>>.
 67. Leslie F. Hauck III and John P. Geis II, "Air Mines: Countering the Drone Threat to Aircraft," *Air & Space Power Journal* (Spring 2017), 32, available at <www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Volume-31_Issue-1/V-Hauck_Geis.pdf>; Keller, "The Air Force Has Deployed Its Drone-Killing Microwave Weapon to Africa."
 68. Sean A. Gainey, Nicole M. Thomas, and Tom Karako, "A New Strategy for Countering Small Unmanned Aerial Systems," transcript, Center for Strategic and International Studies, January 8, 2021, 7-8, available at <<https://www.csis.org/analysis/online-event-new-strategy-countering-small-unmanned-aerial-systems>>.
 69. Thomas Brading, "Army Selects Countermeasures Against Drones," Army News Service, June 29, 2020, available at <https://www.army.mil/article/236839/army_selects_countermeasures_against_drones>.
 70. Kris Osborn, "JADC2: NATO's Answer to the Threat of Drone Swarm Attacks," *The National Interest*, November 29, 2021, available at <<https://nationalinterest.org/blog/reboot/jadc2-natos-answer-threat-drone-swarm-attacks-197128>>.
 71. Scharre, "Counter-Swarm."
 72. John R. Hoehn, "Joint All-Domain Command and Control (JADC2)," IF11493, Congressional Research Service, December 9, 2020, 2, available at <<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11493/12>>.
 73. William M. (Mac) Thornberry *National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2021*, HR 6395 (2020), 116th Cong., 2nd sess. (2020), 58, available at <<https://www.congress.gov/116/plaws/publ283/PLAW-116publ283.pdf>>.
 74. Jen Judson, "Congress Hits Fast-Forward to Field New Capability to Counter Drones," *Defense News*, December 4, 2020, available at <<https://www.defensenews.com/pentagon/2020/12/04/congress-hits-fast-forward-to-field-new-capability-to-counter-drone-threats/>>.
 75. Gainey, Thomas, and Karako, "A New Strategy for Countering Small Unmanned Aerial Systems," 7.
 76. "U.S. Department of Transportation Issues Two Much-Anticipated Drone Rules to Advance Safety and Innovation in the United States," Federal Aviation Administration, December 28, 2020, available at <https://www.faa.gov/news/press_releases/news_story.cfm?newsId=25541>.
 77. "Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM)," Federal Aviation Administration, available at <https://www.faa.gov/uas/research_development/traffic_management/>.
 78. Vick et al., *Air Base Defense*, 108.