

淺談反無人飛行器系統（C-UAS）發展

作者：吳銘祥

提要

- 一、西元2021年6月美國軍事及外交人員於巴格達機場遭1具武裝無人機攻擊，面對新式無人機，美軍已提升其武力威脅的警示等級，因其影響美方於伊拉克空域擁有的獨立自主權，可見即便國力強大如美國，面對無人機作戰發展運用的態度，也是保持高度戒慎恐懼的心態。
- 二、依美國國防部分類方式，可將無人飛行系統分為5類；大型無人機優勢在於可運送致命性酬載，劣勢在於其作戰能力及模式容易預測；小型無人機則具備匿蹤、滲透及低成本等特性，其複雜度造成多面向的威脅無遠弗屆，成為反無人飛行系統發展的最大挑戰。
- 三、反無人飛行器系統透過不同方法，以偵測具敵意無人機存在或制壓無人機，其手段包括光電科技、紅外線技術、聲音感測器、雷達系統及無線電頻率辨識等方法，建構具備效能及多層偵測的能力。
- 四、考量我國防衛作戰構想，可藉由作戰前線硬殺攻擊、城鎮戰軟殺反制、反無人機系統網絡建構及軍民工業合作等4個面向發展，以確保我國領土安全。

關鍵詞：C-UAS、UAV、Drone、反無人飛行器系統

前言

一、研究動機

美國有線電視新聞網 CNN 於 2021 年 6 月 28 日報導，6 月 1 具武裝無人機在巴格達機場內美軍及外交人員用餐的餐廳入口引爆；之前於 4 月亦有 1 具無人機攻擊破壞美國中央情報局（CIA）在埃爾比勒省（Erbil）的無人機棚廠。近期，在伊拉克執行任務的美國情報人員及軍方人員，針對新型、智能化的伊朗無人機攻擊狀況，提升其對美軍武力威脅的警示等級。在伊拉克，針對美方人員進行火箭攻擊已成常態；但是，這些新型伊朗製無人飛行機，已被美方情報人員及軍方人員視為伊朗顯著的軍力提升。對於美方情報人員是個警訊，那就是「美方將不再擁有伊拉克空域的獨立自主權」。¹由報導可知，無人機的作戰研究發展運用，在現今的作戰環境中，具有舉足輕重的腳色。美國面對伊朗發展運用無人機作戰的態度，保持高度戒慎恐懼的心態，可看出如何面對無人機

¹ Katie Bo Williams, "US airstrikes follow a spate of sophisticated attacks by Iranian drones that can avoid US surveillance" (Cable News Network, CNN), <https://amp.cnn.com/cnn/2021/06/28/politics/us-airstrikes-new-iran-drone-attacks-avoid-surveillance/index.html>.

作戰發展是一項相當值得研究的課題。

二、研究目的

承上所言，如何有效反制無人飛行系統，亦是我國在執行防衛作戰時，必須面對的課題。因此，本研究機先針對無人飛行系統介紹，接著將反制無人飛行系統類型分為 3 類（軟殺、硬殺及偵追），並提出現今各國研發使用的反無人飛行系統。最後，針對無人飛行器系統議題，提出相關建議，期能使讀者對於無人飛行器系統發展現況有所瞭解。

無人飛行系統（UAS, Unmanned Aerial Systems）分類

無人飛行系統分類並非只有單一標準，國防軍事體系有自己的標準，民間商用也有屬於自己較為寬鬆的分類標準。一般來說，無人飛行系統可依尺寸大小、飛行距離及續航時間來進行分類，說明如次。²

一、依尺寸大小分類

- （一）極小型無人機（Very small UAVs），包含微米級、奈米級無人機。
- （二）小型無人機（Small UAVs），亦可稱為迷你無人機。
- （三）中型無人機（Medium UAVs）
- （四）大型無人機（Large UAVs）

二、依飛行距離及續航時間分類

- （一）極低成本近程無人機（Very low cost close-range UAVs）
- （二）近程無人機（Close-range UAVs）
- （三）短程無人機（Short-range UAVs）
- （四）中程無人機（Mid-range UAVs）
- （五）遠程無人機（Endurance UAVs）

在軍事方面使用，則以層級方式來進行分類。³依美國國防部分類，共分為 5 類，參照如表 1。

表 1 美國國防部無人飛行系統分類表

分類	尺寸大小	最大負載飛行重量（磅） 最大負載飛行重量（公斤）	飛行高度（呎） 飛行高度（公尺）	航速（節） 航速（公里/小時）
第一類	小	0-20 磅 0-9 公斤	小於地平面 1200 呎 小於地平面 365.76 公尺	小於 100 節 小於 185.2(公里/小時)
第二類	中	21-55 磅 9-25 公斤	小於 3500 呎 小於地平面 1066.8 公尺	小於 250 節 小於 463 (公里/小時)

² Qassim A. Abdullah, Ph.D., Classification of the Unmanned Aerial Systems (The Pennsylvania State University), <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5>.

³ 同註 2。

第三類	大	小於 1320 磅 小於 600 公斤	小於平均海平面 18000 呎 小於地平面 5486.4 公尺	小於 250 節 小於 463 (公里/小時)
第四類	巨大	大於 1320 磅 大於 600 公斤	小於平均海平面 18000 呎 小於地平面 5486.4 公尺	任何航速均有
第五類	最大	大於 1320 磅 大於 600 公斤	大於 18000 呎 大於地平面 5486.4 公尺	任何航速均有
小結	一、尺寸越小：負載重量、飛行高度及航速均越小，較適合短程的攻擊模式。 二、尺寸越大：負載重量、飛行高度及航速均越大，較適合遠程的攻擊模式。			

資料來源：筆者參考美國防部分類方式自行整理

無人飛行系統（UAS, Unmanned Aerial Systems）發展

無人系統真正的成本和價值並不在於飛行器本身，而在於其搭載的傳感器組件、飛行控制系統及與地面控制站或其他平台的傳輸數據鏈。⁴透過控制平台的建構，可同時操控多批次無人飛行系統執行任務；另因無人機上無搭載人員，故可去除人員傷損風險，並降低製造成本。這也是近年來，許多國家（如前面所提及的伊朗）積極發展無人飛行系統的主要原因。

大多數無人飛行器為便於進行偵察監視，而被設計成低速飛行，這一概念是源於低速飛行更有利於傳感器捕捉目標細節，從而更準確地判斷和識別，但低速同時也大大減少了飛行器在危險空域的生存率。⁵故配合低成本、多批次的飛行模式，將是無人飛行器運用的主要方向。近年來，各國軍事用途小型且具攻擊能力 UAS 已有相關裝備問世，較為成熟的現貨市場產品概述如次。

一、波蘭「戰友」（WARMATE）作戰用無人飛行器

波蘭 WARMATE（戰友）作戰用無人飛行器，可執行監視、偵測及辨識等任務。由波蘭研發的 WARMATE（戰友）作戰用無人飛行器系統，於 2015 年 9 月公開展示，並於 2018 年開始在波蘭軍方使用。波蘭 WARMATE（戰友）作戰用無人飛行器系統搭配 GS9 成像器，可針對目標進行目標辨識；亦可使用 GO-1 彈頭擊殺敵軍人員或輕型裝甲。WARMATE（戰友）作戰用無人飛行器系統可相容於 SWARM（蜂群）偵查攻擊系統，使其可鏈結於 FlyEye（飛眼）系統，執行目標辨識與獲得。⁶操作高度為 100 公尺至 500 公尺，最高速度為 150 km/h、航速為 50 km/h，操作半徑距離為 12 公里，可飛行 50 分鐘。⁷依美軍無人飛行系統分類，屬於第一類無人飛行系統，可執行情監偵及攻擊任務，並透過網路鏈結，達到目獲效果。

⁴諾曼·弗里德曼，《美軍最尖端武器·無人機》（臺北：全球防務出版公司，西元 2012 年），頁 2。

⁵諾曼·弗里德曼，《美軍最尖端武器·無人機》（臺北：全球防務出版公司，西元 2012 年），頁 10。

⁶詹氏年鑑電子資料庫

⁷詹氏年鑑電子資料庫



圖一 WARMATE（戰友）作戰用無人飛行器

資料來源：如附註⁸

二、美軍「郊狼」（Coyote）無人飛行器

為消耗性迷你 UAV，發射後飛行翼展開後，即可飛行。飛行器設計成可更換之酬載，其研發時間為 2007 年至 2009 年，於 2009 年起開始使用。其操作高度為 150 公尺至 365 公尺，最高速度為 157km/h、巡航速度為 111 km/h，操作半徑距離為 37 公里，可飛行 90 分鐘。⁹

美國網媒 The Drive 知名的軍武新聞「戰區」（The War Zone）報導，雷神公司於 2021 年在亞利桑那州尤馬試驗場（Yuma Proving Ground）的測試中，4x4 聯合輕型戰術輪車（Joint Light Tactical Vehicle, JLTV）透過托盤發射系統發射「Block 2+ Coyote」，在不同高度擊落各式定翼無人機，可由原對地攻擊角色轉為兼具反無人機用途。¹⁰

本裝備特色為小型、可消耗及管式發射，可在地面、空中或船艦上部署，可單機飛行，亦可聯網組成蜂群，能夠執行監視、電子戰及打擊作戰等任務。構型 2（Block 2）及構型 3（Block 3）郊狼尾部有 4 個機動性操縱面，並具備火箭推進器，使初始推力更強。升空後，則由小型噴射渦輪負責推進，可對付具有高度機動力的目標。目前已部署美國陸戰隊的陸基防空系統，而美陸軍亦計畫在美軍中央司令部（U.S. Central Command）防區部署裝備「郊狼」的聯合輕型戰術輪車。¹¹

依美軍無人飛行系統分類，屬於第一類無人飛行系統，可執行情監偵攻擊任務，尺寸小及成本低，加上為消耗性不需回收使用，為其執行近程攻擊任務之

⁸詹氏年鑑電子資料庫

⁹詹氏年鑑電子資料庫

¹⁰<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/3796727>

¹¹<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/3796727>

最大特色。



圖二 Coyote（郊狼）無人飛行器

資料來源：如附註¹²

三、中共各類無人飛行載具發展現況

中共無人飛行載具發展源自 1960 年代，中共利用越戰期間美軍墜地的火蜂無人機殘骸，進行逆向工程仿製，研製出長虹一號無人機之雛型機。1972 年首飛成功，1980 年定型後正式撥交部隊運用，並以軍用型號命名為「無偵 - 5」。此後，中共持續發展無人機，現今已具備軍用無人機偵查、攻擊能力，能同時執行目標獲得、目標識別、攻擊接戰、電戰干擾與效果監控等任務。¹³

表 2 中共無人飛行載具機型

型式	性能	用途
長虹一型	飛行航程：2500 公里 飛行高度：17500 公尺 滯空時間：3 小時	使用可見光照相機，晝間執行高空攝影及偵照任務。
長空二型	飛行航程：950 公里 飛行高度：18000 公尺 滯空時間：3 小時	可用於核武器試驗的取樣工作亦可供低防空武器系統鑑定用，並具有高機動盤旋能力，供空對空導彈和殲擊機鑑定試驗用。
ASN - 104	飛行航程：300 公里 飛行高度：3200 公尺 滯空時間：2 - 6 小時	提供戰場空中偵察情報與進行即時監視。
ASN - 206	飛行航程：150 公里 飛行高度：6000 公尺 滯空時間：4~8 小時	飛行航程：150 公里 飛行高度：6000 公尺 滯空時間：4~8 小時
哈比	飛行航程：600 公里 飛行高度：3000 公尺 滯空時間：4 小時 攻擊精度：5 公尺	為空對地反輻射飛彈之一種，具定位運算能力，可搜尋雷達源進行攻擊。

¹²詹氏年鑑電子資料庫

¹³楊培毅，〈探討復仇者飛彈系統面臨防空新挑戰與作為 - 一、二類無人機〉《砲兵季刊》（臺南），第 188 期，陸軍砲訓部，西元 2020 年 3 月，頁 38。

WZ - 2000	飛行航程：2000 公里 平飛速度：236 公尺/秒 滯空時間：12 小時	具衛星通訊能力，可即時提供戰區圖像、情報，完成偵查與監視任務。
翼龍系列	飛行航程：4000 公里 飛行高度：5300 公尺 滯空時間：20 小時	對地面目標進行定位、識別、跟蹤、監視、偵查與對地攻擊。
彩虹系列	飛行航程：2400 公里 飛行高度：5300 公尺 滯空時間：6 - 16 小時	偵蒐、通訊中繼、情報蒐集、火炮校射、電子戰、地面目標精準定位及即時打擊等作戰任務。
B - 2	飛行航程：15 公里 飛行高度：50~5000 公尺 滯空時間：1 小時	提供地面防空部隊進行接戰射擊訓練。
多軸式無人機	飛行航程：5 公里以內 飛行高度：1200 公尺以下 滯空時間：1 - 6 小時	目標偵蒐、目標精準定位、識別、攻擊

資料來源：如附註¹⁴

反無人飛行器系統 (C-UAS) 發展概況

隨著無人飛行器發展日趨壯大，研究反無人飛行器系統的議題，也漸漸地被重視，並且發展出相關的反制機制。反無人飛行器系統(C-UAS)透過不同方法，以偵測具敵意無人機存在或制壓無人機。第一種方法是分別透過光電科技、紅外線技術或聲音感測器，以視覺、熱或聲音特徵，來偵測目標。第二種方法是使用雷達系統。然而，因為小型無人機特徵與尺寸之限制，這些方法並非總是可以有效偵測小型無人機。第三種方法是辨識用來控制無人機的無線訊號（通常為無線電頻率訊號）。這幾種方法可一起（也常一起）組合起來，以提供更有效率、多層偵測的能力。¹⁵透過不同方法的組合運用，可衍生出多樣化的反無人飛行器系統。

其中一種方法是，當無人機被偵測到，其將被接戰鎖定或無效化。電子戰中的「干擾行動」可介入無人機至操作者之間的通信鏈路。電戰干擾裝置重量可輕達 5 至 10 磅，所以可透過人攜方式攜帶，也可重達數百磅，以固定位置設置或接合至載具上。無人飛行載具可透過槍枝、網、指向性能量及傳統防空系統等方式，使其無效化或摧毀。¹⁶無論是人攜式或固定式反無人飛行器系統，其目的均為干擾、驅離或破壞敵無人飛行器系統，使其無法對我軍造成損傷。以

¹⁴楊培毅，〈探討復仇者飛彈系統面臨防空新挑戰與作為——一、二類無人機〉《砲兵季刊》（臺南），第 188 期，陸軍砲訓部，西元 2020 年 3 月，頁 39。

¹⁵John R. Hoehn, Kelley M. Saylor, Department of Defense Counter-Unmanned Aircraft Systems (Congressional Research Service, 西元 2020 年 6 月)，頁 1。

¹⁶John R. Hoehn, Kelley M. Saylor, Department of Defense Counter-Unmanned Aircraft Systems (Congressional Research Service, 西元 2020 年 6 月)，頁 1。

美軍而言，美國防部持續並同時地發展及籌購各種類型之反無人飛行系統，以確保強化防禦能力，分析如次。

美國空軍

持續測試高功率微波及雷射，以指向性能量方式，遂行反無人飛行系統任務。2019年10月，美空軍接收一款裝載於載具上的反無人飛行系統原型機，稱為高能量雷射武器系統（High-Energy Laser Weapon System, HELWS），並開始執行為期一年的海外現地測試。高能量雷射武器系統（HELWS）預劃用來在數秒內完成辨識並癱瘓具敵意或未授權之無人飛行系統，當此系統連結至發電機後，可提供大數量的射線。而這樣的計畫，在美國2016年小型無人機發展計畫中已略有記述，雖然在當時反無人飛行系統的發展效益尚未明顯可見，美空軍仍指出需發展機動式反無人飛行系統。¹⁷對比於2021年現今的作戰環境，可看出美空軍於2016年對於未來作戰環境發展的遠見之明。

美國陸軍

特德斯科上校（Tedesco）於2015年11-12月份的《軍事評論》（Military Review）期刊提到，對於美陸軍而言，歷史給的關鍵教訓就是每一場戰爭都是不同的。如何從歷史中獲得洞見，作戰規劃者必須能在未來多變挑戰環境中，運用訓練、準則及裝備，去面對未知的可能性。而未經歷如何對抗無人飛行系統作戰的軍隊，將無法有效因應未來戰場環境。美陸軍對於無人飛行系統的威脅係從2015年開始重視，並檢視面對無人飛行系統攻擊的防禦基本需求。雖然美國擁有科技優勢，亦是過去在無人飛行系統在攻勢作戰中使用的創新領導者，並在伊拉克及阿富汗作戰中，使用無人飛行系統來支援地面部隊作戰。所以，美國需在面對無人飛行系統威脅遽增的狀況下，再次顯明針對無人飛行系統威脅的防禦領導地位。¹⁸

若美軍聯戰能力不足以保護美軍部隊，在敵人擁有超乎預期的無人飛行系統作戰能力狀況下，美國將會喪失作戰行動中的自由度。未具備反無人飛行系統作戰能力，意味著任務執行成功率的降低。換句話說，若是沒有採取適當措施去發展堅強的反無人飛行系統能力，美國總統及國會部門將在不久的未來發現於軍事衝突中，欲使用地面部隊解決軍事衝突時，會使友軍暴露於更高的風險之中。另外，更多的兵力運用限制，亦會直接影響美軍投射於全球戰略區及友邦國家提供兵力支援的能力。¹⁹

¹⁷John R. Hoehn, Kelley M. Saylor, Department of Defense Counter-Unmanned Aircraft Systems (Congressional Research Service, 西元2020年6月), 頁1。

¹⁸Col. Matthew T. Tedesco, "Countering the Unmanned Aircraft Systems Threat", Military Review, 西元2015年11-12月, 頁64。

¹⁹Col. Matthew T. Tedesco, "Countering the Unmanned Aircraft Systems Threat", Military Review, 西

當美陸軍具備反無人飛行系統的最佳能力時，將有效限制敵軍阻礙火力，以遂行美陸軍作戰構想中的關鍵因素，就是「執行攻擊及防禦任務時，在軍事行動所包含的所有範圍內，具備火力發揚能力，以擊敗敵軍並保持作戰行動的自由度」。而這一項能力正是美陸軍為了在複雜全球作戰環境中勝利，必須保有的關鍵能力。²⁰

2016年7月，美陸軍發表一份反無人飛行系統戰略規劃，以指導反無人飛行系統能力發展方向。緊接著在2017年4月，於美陸軍科技刊物3-01.81「反無人飛行系統技術」中強調「作戰過程中如何防禦並對抗低空、低速、小型無人機威脅之計畫作為」，提出如何規劃並與反無人飛行系統單兵任務結合至訓練項目。其中，反無人飛行系統亦是美陸軍作戰能力發展指揮部中六層防空及飛彈防禦構想中之一部分，包含：低高度彈道無人機接戰（BLADE）、多功能高能量雷射（MMHEL）、次世代火控雷達（Next-Generation Fires Radar）、操演防空科技（MADT）、高能量雷射戰術載具展示者（HEL-TVD）及低成本防空延伸距離（LOWER AD）等6項。此外，美陸軍也開始使用人攜式、車載式及機動式反無人飛行系統，並與防衛數位中心（Defense Digital Service）合作，發展電腦控制的反無人飛行系統相關產品。²¹由美陸軍的反無人飛行系統進展可看出，透過多樣化研發模式是未來反無人飛行系統發展的方向。

2020年2月堪薩斯州立大學教授尼古拉斯（Randall K. Nichols）等6位學者，共同發表論文，提出：按照反無人飛行系統的複雜度來說，無人飛行系統的尺寸大小必須納入考量。小型無人機可在所有戰爭環境及國內領域使用。小型無人機可攜帶致命的酬載、可辨識目標、混淆系統及傳送關鍵目標資訊，也最適合運用於不對稱作戰中，因為其具備匿蹤、滲透及便宜等特性。小型無人機的複雜度造成多面向的威脅是無遠弗屆的，亦因此成了反無人飛行系統科技中的最大挑戰。大型無人飛行系統雖然在威脅的面項中較多限制，但是仍為戰役中的資產。大型無人機雖除了可以執行致命性酬載運送外，也可執行辨識目標、混淆系統及傳送關鍵目標資訊等任務。然而，這些也是本來就被預期所執行的能力。²²所以，如何反制小型無人機的作戰運用，會是作戰任務中的關鍵因素。綜整美國反無人機發展構想時間，概要如表3。

元 2015年11-12月，頁64。

²⁰Col. Matthew T. Tedesco, "Countering the Unmanned Aircraft Systems Threat", Military Review, 西元2015年11-12月，頁66。

²¹John R. Hoehn, Kelley M. Sayler, Department of Defense Counter-Unmanned Aircraft Systems (Congressional Research Service, 西元2020年6月), 頁2。

²²Randall K. Nichols, Hans C. Mumm, Wayne D. Lonstein, Julie J.C.H. Ryan, Candice Carter, and John-Paul Hood, Counter Unmanned Aircraft Systems Technologies and Operation, (New Prairie Press, 西元2020年2月), 頁31。

表 3 美國反無人機發展構想時間表

時間	單位	構想（發展）內容
2015 年	美陸軍	提出「未具備反無人飛行系統作戰能力，意味著任務執行成功率的降低。」
2016 年	美空軍	提出應發展機動式反無人飛行系統
2016 年 7 月	美陸軍	發表一份反無人飛行系統戰略規劃，以指導反無人飛行系統能力發展方向。
2017 年 4 月	美陸軍	強調並開始規劃「作戰過程中如何防禦並對抗低空、低速、小型無人機威脅之計畫作為」。
2019 年 10 月	美空軍	接收一款裝載於載具上的反無人飛行系統原型機，稱為「高能量雷射武器系統，HELWS（High-Energy Laser Weapon System）」，並執行為期一年的現地測試。
2020 年 2 月	堪薩斯州立大學	提出「按照反無人飛行系統的複雜度來說，無人飛行系統的尺寸大小必須納入考量。」

資料來源：作者自行整理

無人飛行系統亦可分類為私人、商用及軍事用途。這三大類均有相同及相異之處，但是整體來說，其共同特性就是均具備威脅作用。²³發展反制無人飛行系統對策，需要完成眾多步驟的流程，以避免落入潛在陷阱中，才能取得高程度的成功。第一步驟就是要先分析威脅，此步驟可能包含像是簡單的運送違禁品進入監獄的四軸飛行器，或是複雜如同我們僅有少許情資的巡弋飛彈或攻擊用無人機。無人機的任務及武器潛在能力，將會決定如何適當的反制無人飛行系統作為。而無人機的數量，亦是影響解決方案複雜度的關鍵。²⁴

以反無人飛行系統來說，其發展基礎建立於距離、偵測及攔截等 3 大面向。當無人機或是地面控制站會產生無線射頻訊號時，擁有被動式偵測系統將會相當有效。但是，若攻擊無人機為電波靜默狀態，則可能需要雷達系統用來偵測。攔截的選擇則往往取決於無人機或是其攜帶武器的大小。隨著其尺寸增加，攔截方式從較軟性的干擾、網抓等方式，進階為針對航空器的傳統武器，如子彈或飛彈等。當攻擊無人機數量增加時，攔截方式則從動態攻擊轉為非動態攻擊，例如雷射或高能量微波攻擊等方式。²⁵

²³Randall K. Nichols, Hans C. Mumm, Wayne D. Lonstein, Julie J.C.H. Ryan, Candice Carter, and John-Paul Hood, Counter Unmanned Aircraft Systems Technologies and Operation (New Prairie Press, 西元 2020 年 2 月), 頁 31。

²⁴Randall K. Nichols, Hans C. Mumm, Wayne D. Lonstein, Julie J.C.H. Ryan, Candice Carter, and John-Paul Hood, Counter Unmanned Aircraft Systems Technologies and Operation (New Prairie Press, 西元 2020 年 2 月), 頁 81-82。

²⁵Randall K. Nichols, Hans C. Mumm, Wayne D. Lonstein, Julie J.C.H. Ryan, Candice Carter, and John-Paul Hood, Counter Unmanned Aircraft Systems Technologies and Operation (New Prairie Press, 西元 2020 年 2 月), 頁 82。

表 4 威脅偵測方式

名稱	方式
雷達裝備	靠輻射電磁波，以偵測無人飛行系統。
無線電頻率	掃描無人機所用頻率及其周邊地區無線射頻裝置，以辨識無人機存在。
光電技術	辨識無人機外觀特徵，以偵測無人機。
紅外線技術	辨識無人機熱源特徵，以偵測無人機。
音波技術	辨識無人機所產生的音波特性，以偵測無人機。
組合式感測器	許多系統整合多項不同感測器裝置，以提升偵測能力。具備多樣式偵測元素，能避免過度仰賴單一偵測系統，以提升偵測成效可行性。

資料來源：如注²⁶

此外，指揮及管制作為的限制與需求，是所有解決方案不可忘記的事項。例如在商用無人機多樣化的狀況下，指揮及管制作為可能非常簡潔及有效。但是，隨著威脅與防禦層級增加，指揮與管制系統也將趨於複雜。複雜度需求層級會需要使用內建專用人工智慧軟體來解決，以協助引導攻擊行動與狀況處置。反無人飛行系統雖然會隨著科技進步而改變更新，但是無人機與反無人機矛盾與盾之間的議題，卻是受制於人類創新思維影響，而非是那些使機器運作的科技。²⁷由此可知，無論科技進步如何進步發展，影響戰爭勝敗的關鍵，仍是人類對於作戰思維的創意發想。

依《陸軍野戰砲兵營、連作戰教範》第二節第一款所述，野戰砲兵部隊為地面火力支援骨幹，依任務、武器特性結合兵力運用適切賦予編組，創造戰場火力優勢或密切對戰鬥部隊行有效支援，其任務賦予計有密切支援、縱深戰鬥及反火力戰。²⁸然其限制因素中亦提到「易遭受敵空中及核子武器危害。與敵地面部隊近戰，難以遂行主要任務。」²⁹，可知若敵持續發展無人飛行機攻擊策略，將會造成砲兵部隊威脅。為有效遂行砲兵部隊任務，發展反無人飛行器系統實屬必需。

近年來，各國針對反制 UAS 已有相關裝備問世，整理分類表如表 5，概述如次。

²⁶Randall K. Nichols, Hans C. Mumm, Wayne D. Lonstein, Julie J.C.H. Ryan, Candice Carter, and John-Paul Hood, Counter Unmanned Aircraft Systems Technologies and Operation (New Prairie Press, 西元 2020 年 2 月), 頁 110-111。

²⁷Randall K. Nichols, Hans C. Mumm, Wayne D. Lonstein, Julie J.C.H. Ryan, Candice Carter, and John-Paul Hood, Counter Unmanned Aircraft Systems Technologies and Operation (New Prairie Press, 西元 2020 年 2 月), 頁 81-82。

²⁸《陸軍野戰砲兵營、連作戰教範》(桃園：國防部陸軍司令部，西元 2021 年 4 月 13 日)，頁 1-4。

²⁹《陸軍野戰砲兵營、連作戰教範》(桃園：國防部陸軍司令部，西元 2021 年 4 月 13 日)，頁 1-8。

表 5 反無人飛行系統分類表

分類	方式	裝備構型	研發國	備考
硬殺	直接對無人飛行系統進行物理性攻擊	SMASH 2000 PLUS	以色列	人攜式
軟殺	以電磁波進行干擾，迫使無人飛行系統無法執行任務。	Orion H	新加坡	人攜式
		Chimera	法國	
		新型輕量干擾器 (尚未命名)	中共	
偵追	透過偵測器，偵測、追蹤小型無人機。	Echodyne	美國	偵測（追蹤）
綜合	透過干擾影響無人飛行載具的行動	Drone Dome	以色列	軟殺、偵追
小結	根據作戰構想，使用硬殺、軟殺、偵測（追蹤）或綜合方式，對敵無人飛行系統執行反制行動。			

資料來源：作者自行整理

一、以色列 SMASH 2000 PLUS 步槍瞄準具

以色列 SMASH 2000 PLUS 步槍瞄準具是以 SMASH 2000 步槍瞄準具為基礎，並增加 C-UAS 模式，可針對日益嚴重的無人機威脅，提供精準擊殺能力。³⁰



圖三 An Emtan MZ-4 rifle featuring the SMASH 2000 Plus

資料來源：如附註³¹

SMASH 2000 PLUS 步槍瞄準具可安裝於步槍，內部建置瞄準演算法，可有效追蹤並命中小型無人機，有效距離達 120 公尺。³²此項裝備係利用直接命中（硬殺）之方式，摧毀進襲之無人機，以有效確保空防安全。

二、新加坡 Orion H+：

Orion H+ 為輕量、多功能 C-UAS 系統，可使用軍事作戰環境，並內建指北針可辨別方位。新加坡 TRD (Tint Red Dot) 公司於 2020 年新加坡航空展，展示最新型反無人飛行系統 Orion H+。該裝備為輕量手持式干擾器，共有 6 個操作頻道，包含：433MHz、915MHz、2.4GHz 及 5.8GHz 等 4 個無線電波道，

³⁰詹氏年鑑電子資料庫

³¹詹氏年鑑電子資料庫

³²詹氏年鑑電子資料庫

還有全球衛星導航系統（GNSS, Global Navigation Satellite System）的 L1（1575.42MHz）及 L2（1227.60MHz）等 2 個波道。這 6 個波道可同時使用，亦可單獨使用，並迫使無人飛行系統於現地自動降落或返回原基地。Orion H+ 使用範圍為 1 公里，電池容量可允許操作 1 小時。³³不同於 SMASH 2000 PLUS 使用硬殺攻擊模式，Orion H 採軟殺方式，對敵無人機實施干擾，迫使無人機無法再執行作戰攻擊，亦可避免敵無人機遭摧毀後所產生後續傷害之影響。



圖四 Orion H+

資料來源：如附註³⁴

三、法國 Chimera

Chimera 設計為具高度機動性、易於全天候操作，可針對無人飛行系統執行偵測、定位及癱瘓。它可保護地面部隊免於各類無人飛行系統威脅，包含以無線電傳輸方式且以 Wi-Fi 無線網路控制的無人飛行系統威脅。該系統配備 8 公斤天線盒，內含全向性 VHF 天線、電子零組件及可充電式鋰電池，可提供指向性天線效果器電源。天線盒透過周圍無線電電磁頻譜全向性分析，以偵測無人飛行系統威脅。這種方法使操作者可辨識威脅與操控者間無線傳輸資訊痕跡，並透過 C2 介面分類及辨識目標。當無人飛行系統經確認為威脅時，透過超視線（BVLOS）的電磁干擾信號，由手持式效果器發射至目標，並癱瘓目標行動。Chimera 是透過指揮管制（C2）軟體介面，可透過平板電腦操作，亦可連結至戰術背心使用。天線盒可透過背包運輸。該系統於 2018 年至 2020 年期間由法國研發，並由法國警方、特種部隊及正規作戰部隊測試使用。目前該系統已於法國國土安全部門及軍隊服役使用，已有其他國家展現出對該系統之興趣，惟

³³<http://www.unmannedairspace.info/counter-uas-systems-and-policies/latest-version-of-trds-orion-handheld-jammer-launched-at-singapore/>

³⁴詹氏年鑑電子資料庫

目前為止法國並未簽屬銷售合約。³⁵



圖 5 Chimera

資料來源：如附註³⁶

四、中共新型輕量干擾器

中共陸軍地面部隊亦運用新型輕量干擾器，對抗無人飛行系統。中共中央電視台於 2020 年 9 月 24 日播出解放軍陸軍地面部隊操作新型輕量干擾器對抗無人飛行系統。其外觀與狙擊步槍相似，並由第 80 集團軍於訓練演習中對抗無人飛行系統，並迫使該無人飛行系統迫降。該武器配有天線，用來干擾無人機操作者與無人機之間的傳輸訊號。其天線可能具備辨別無人機所使用的頻率的功能，這與一般商用的反無人飛行器系統相似。目前無法得知其干擾距離，推估為視線距離。在影片中該系統使用，與無人機的距離應為 100 公尺之內，而一般這種小型系統干擾距離通常為幾百公尺。³⁷



圖 6 中共新型輕量干擾器

資料來源：如附註³⁸

³⁵詹氏年鑑電子資料庫

³⁶詹氏年鑑電子資料庫

³⁷詹氏年鑑電子資料庫

³⁸詹氏年鑑電子資料庫

五、美國 Echodyne 反無人飛行器系統

Echodyne 已發展掌心尺寸超材料電子掃描陣列 (metamaterial electronically-scanning array, MESA) 雷達, 以執行反制無人飛行器系統任務。透過不需相位轉換器的相位陣列雷達, 取代傳統相位陣列雷達。傳統相位陣列雷達倚靠相位轉換器 (或時間延遲系器) 來控制雷達波束, 而 Echodyne 超材料電子掃描陣列雷達則利用晶片開關來來控制雷達波束。這種簡化的構造, 可有效節省成本、縮小尺寸、降低重量及增加功率。Echodyne 有 4 種雷達可供運用, EchoGuard 及 EchoGuard International 地對空的空域管理雷達用來偵測與追蹤三維環境中的空中及地面威脅。這 2 個雷達重量均為 1.25 公斤、功率均為 500 瓦, 但是所使用的頻率範圍有些許不同。EchoGuard CR 則用來進行安全維護任務及保護重要設施, 其中重量亦為 1.25 公斤, 然其功率略為較低, 因其使用範圍較為近距離。EchoGuard 可追蹤 200 公尺內口袋尺寸的 UAS、900 公尺內的 DJI Mavic Pro (DJI Phantom 4 UAS)、1.4 公里內的 DJI Matrice 600 及 2.5 公里內的小型定翼機 (如西斯那輕航機)。EchoGuard 還可以追蹤 2.2 公里內的地面人員、3.5 公里內的地面載具及海上船艦。EchoFlight 空對空碰撞避免雷達係裝置於無人飛行器系統前方, 以偵測並避免碰撞。此雷達尺寸較小、重量較輕, 約 0.8 公斤, 功率為 40 瓦。另外, 還有一種 EchoDrive 雷達, 可用於無人地面載具 (unmanned ground vehicles, UGV)。³⁹

針對反無人飛行器系統, EchoDrive 雷達可用於空降任務, 因其工作原理與相位陣列雷達相似, 可輸出真正的類比波束導引, 並涵蓋垂直方向 80 度視野範圍。透過不具備相移器的極簡化天線構造, 製造出可控制的波束, 並且使用印刷電路板 (PCB) 及電子元件, 來製造極簡化天線。兩者比較, 被動式電子掃描 (PESA) 雷達在天線前緣具備 1 個發射機及 (或) 接收機、波束控制天線。而主動式電子掃描 (AESA) 雷達, 通常將發射機及接收機內嵌於天線內。⁴⁰

Echodyne 參與美國防衛研究計畫委員會 (Defense Research Projects Agency, DARPA), 並於 2019 年 11 月發表該委員會將其研發的 EchoGuard 及 EchoFlight 雷達, 列為空網 (Aerial Dragnet) 計畫中的關鍵感測器。該項測試於加州聖地牙哥市 (San Diego) 地面釋放 2 具系留浮空氣球 (tethered aerostat balloon), 爬升至 400 英尺後, 抵達納雄耐爾市 (National City); 亦同時於建築頂及高塔位置執行定點測試, 以提供大範圍涵蓋區。這些感測器可偵測、追蹤小型無人飛行系統, 並可區別出它們與環境背景的不同, 如: 建築物、車輛與鳥類。這次測試主要在於評估該系統針對超過 150 種無人飛行系統

³⁹詹氏年鑑電子資料庫

⁴⁰詹氏年鑑電子資料庫

的偵測、追蹤及辨識狀況，其中包含多種商用無人飛行器，以模擬未經授權或無法辨識的無人飛行系統於城鎮內飛行繞境情況。美國防衛研究計畫委員會（DARPA）計畫著重於達成可於城鎮區偵測、追蹤小型無人飛行系統的困難技術目標。該計畫尋求創新科技，以提供針對 1000 英尺下運行中無人飛行系統，持續且大範圍的監視行動。⁴¹



圖 7 Echodyne 反無人飛行器系統

資料來源：如附註⁴²

六、以色列 Drone Dome（無人機鐵穹）

由以色列拉弗爾先進防禦系統公司（Rafael Advanced Defense Systems）研發設計，可針對無人飛行載具執行偵測、追蹤及干擾，有效針對具敵意無人飛行載具（如：空中攻擊、情資蒐集及騷擾行為）執行防空任務。系統結合 RADA RPS-42 戰術空中搜索雷達及光電感應器，可 360 度偵測無人飛行載具，並於偵測目標後開始追蹤目標及分類目標。資料經由融合及相關比對後，警示操作者有敵無人飛行載具接近。系統將依據事前設定規則，啟動自動化介面操作，或可由操作人員手動控制。該系統可透過干擾全球導航衛星系統（GNSS, global navigation satellite system）及無線電頻率（RF）訊號，來影響無人飛行載具的行動。當威脅抵達制壓區時，全球導航衛星系統及無線電頻率干擾系統將會使敵無人飛行載具無效化。無人機穹頂設計的主要理念是，對周遭環境造成最小影響、對友機提供最大安全。⁴³

⁴¹詹氏年鑑電子資料庫

⁴²詹氏年鑑電子資料庫

⁴³詹氏年鑑電子資料庫



圖 8 無人機鐵穹反無人飛行器系統

資料來源：如附註⁴³

未來發展與建議

反無人飛行系統研發及運用，在現今戰場環境中是相當重要的議題。各國依照戰略構想及戰術運用，建構出不同的反無人飛行系統發展運用。以我國採防衛作戰為主要戰略構想為本，並參考現今各國反無人飛行系統發展，提出未來發展與建議。

一、作戰前線執行硬殺攻擊

第一線作戰環境，因無需考量敵飛行器被擊毀後造成友軍或國土環境之損害，故可直接針對敵飛行器進行硬殺攻擊，將敵飛行器於空中擊落，避免敵飛行器再一步進犯我國領土。以我國戰場環境考量，建議可部署類似 **SMASH 2000 PLUS** 步槍瞄準具（或同等裝備）於金門、馬祖及澎湖等外離島地區。當敵欲以無人機進犯我國領土時，可用硬殺方式直接於沿岸地區摧毀敵無人機，而遭擊落之敵無人機墜海，亦不會破壞我國戰場環境，降低後續危害及影響。

二、城鎮戰執行軟殺反制

考量城鎮戰作戰環境，若敵飛行器被擊毀後，其酬載仍可能落下造成我軍或環境之傷害，故建議以電磁波干擾方式，迫使敵飛行器返回發射陣地，以避免其酬載所造成之傷害。建議在臺灣本島城鎮都市區域，配賦機動打擊部隊類似 **Orion H+**（或同等裝備），以軟殺方式驅離、干擾敵無人機，使敵無人機返回發射陣地或迫降於人煙稀少、空間寬闊的地點，避免敵無人機於我國城鎮都市區域早成重大傷害。

三、建構反無人機系統網絡

於重要政府機關、民生設施及軍事要塞，可透過複合式反無人機系統網絡，進行全面性防護。考量政府機關、民生設施及軍事要塞均需 **24** 小時安全防護，且這些固定設施無法輕易轉移位置，故建議可建構反無人機系統網絡，完整防護重要設施。在總統府、地方首長辦公處所、發電廠、煉油廠、水庫、國防部

及各軍種司令部等地點，可建構 Echodyne 反無人飛行器系統（或同等裝備），執行 24 小時安全防護，以確保重要設施安全無虞。

四、軍民工業合作

綜觀各國反無人機系統發展，多由民間企業或大專院校與軍方合作，成立專案團隊，結合民間研發能力與軍隊作戰實需，共同執行研究開發工作，以發展有效防衛能力。民間企業或大專院校透過與軍方合作專案，可研究發展相關新式科技；而軍方則在專案合作中，獲取有利於作戰運用之系統，可達成雙贏局面。

結語

自古以來，進攻與防守、矛與盾的對決，一直都是作戰之關鍵要素。隨著科技的演進，無人機運用於作戰的方式越來越多元，故反制無人機亦成為相當值得關注的議題。未來無人機作戰發展勢必越來越蓬勃，而反制無人機亦需有志之士共同研究發展，以確保我國防衛作戰勝利安全。

參考文獻

- 一、Katie Bo Williams, 《US airstrikes follow a spate of sophisticated attacks by Iranian drones that can avoid US surveillance》(Cable News Network, CNN, 西元 2021 年 6 月 28 日)。
- 二、Qassim A. Abdullah, Ph.D., 《Classification of the Unmanned Aerial Systems》(The Pennsylvania State University), 西元 2020 年。
- 三、諾曼·弗里德曼, 《美軍最尖端武器·無人機》(全球防務出版公司, 西元 2012 年)
- 四、楊培毅, 〈探討復仇者飛彈系統面臨防空新挑戰與作為 – 一、二類無人機〉《砲兵季刊》(臺南), 第 188 期, 陸軍砲訓部, 西元 2020 年 3 月。
- 五、John R. Hoehn, Kelley M. Saylor, 《Department of Defense Counter-Unmanned Aircraft Systems》(Congressional Research Service, 西元 2020 年 6 月)
- 六、Col. Matthew T. Tedesco, “Countering the Unmanned Aircraft Systems Threat”, Military Review, 西元 2015 年 11-12 月。
- 七、Randall K. Nichols, Hans C. Mumm, Wayne D. Lonstein, Julie J.C.H. Ryan, Candice Carter, and John-Paul Hood, Counter Unmanned Aircraft Systems Technologies and Operation, (New Prairie Press, 西元 2020 年 2 月)
- 八、詹氏年鑑電子資料庫。

作者簡介

吳銘祥少校，中正理工 92 年班、軍備局技術訓練中心正規班 100 年班，曾任飛彈技術官，現任職於陸軍砲兵訓練指揮部防空教官組。