

小型無人機反制作為之研究

空軍少校 黃致豪 空軍上校 潘宜輝

提 要

- 一、隨著科技的進步，無人飛行載具在軍事上運用越來越廣泛，無論是俄烏戰爭或是以阿衝突，運用無人機攻擊及偵查成為了作戰中的必要手段，各型無人機在戰場上所能造成傷害，不亞於高價精準彈藥，且使用簡單，成本低廉，未來將成戰場上的主流武器。
- 二、近期，兩岸情勢日漸緊張，中共對我軍事脅迫日益加劇，頻繁以軍機、艦與無人機操作「灰色地帶衝突(Gray-Zone conflict)」，再者，商用無人機的普及，對我機場飛航及營區軍事安全亦有影響，為防範小型無人機對我的威脅，本篇將以分析反制手段為主軸，並進一步探討面對小型無人機襲擾的反制作為，有效支援軍事作戰，以提供未來國軍建軍備戰之參據。

關鍵詞：小型無人機、無人機防禦系統、無人機反制

前 言

隨著科技發展，各式無人機(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)大量的投入戰場及其展現的能力，讓各國近年在研究如何反制各種不同功能、尺寸及類型無人機的手段，成為當前最重要的課題之一。近年來，大型無人機的防禦可以運用各空層的防空火力或以電戰手段執行反制，而體積小、數量多且難以偵測的小型無人機，則成為對我軍事設施及部隊的新形態威脅。

小型無人機具有小體積、低空飛行，難偵測及辨識等特性，可同時掛載輕量炸藥，運用編隊或採用蜂群式(swarm)

攻擊，造成重要防護目標毀壞。中共的商用無人機生產技術已成熟，可大量出口，在其發展為軍、民兩用機種及威脅背景下，不論在戰時戰場運用或平時目標防護手段，反制無人機作為乃當前最重要的課題，且隨著無人機發展快速，中共更將其運用在灰色地帶衝突，更增加了我方處置的複雜度。無人機的運用不僅在戰時，隨著一般商用小型無人機日漸普及，在日常生活中，亦可看到許多案例，2022年7月桃園國際機場就曾受到無人機干擾，造成機場暫停起降34分鐘，影響17架次航班¹。自《民用航空法》無人機管理機制施行以來，活動申請案逐年增加，全國無人機註冊總架數達4萬餘架²，故建立反制手

1 盧逸峰，無人機入侵空域害桃機暫停起降34分鐘千人受影響，聯合報<https://udn.com/news/story/7266/6481256> (檢索日期：2023年11月1日)。

段更顯迫切。

無人機系統運用探討

隨著「人工智慧」與「無人化」技術逐漸發展，不同類型的無人機運用在戰場上，其成本低廉、效率高的優點及集群作戰的能力，可就監偵、打擊或電子作戰等任務靈活運用，在創新及不對稱作戰中，扮演非常重要的角色。中共迄今已有多型無人機列裝使用，商用無人機市占率更是全球第一³，除了相關產業蓬勃發展，更在軍事上對我威懾、侵擾，未來我國所面對各面項的威脅，無人機絕對是名列前茅，故應詳實檢視各式無人機能力與限制，探討反制方法，以發展不對稱作戰能力。

一、無人機分類

無人機威脅日漸增加，已被用以精準打擊重要設施，近年來尤以小型無人機造成的破壞及損失更甚，面對這種新型態的威脅及有效應對小型無人機的挑戰，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)，旨在透過創新和合作來強化部隊作戰能力、保護重要人員、資產及設施、制定具體的解決方案，建立和

無人機分類表

無人機分類	最大重量 (磅)	標稱工作高度 (英尺)	速度(節)
第1類	0-20	<1,200	100
第2類	21-55	<3,500	250
第3類	<1,320	<18,000	
第4類	>1,320		任意速度
第5類	>1,320	>18,000	

資料來源：參考 Unmanned Aircraft System Airspace Integration Plan. March 2011

拓展與盟友和夥伴的關係，保護其及盟友在國內外的利益等戰略目標⁴。

美國國防部依照重量、工作高度及飛行速度將無人飛行載具區分成五個類別⁵，相較之下，低成本的第1、2類無人機因尺寸、飛行速度及高度，運用傳統防空系統難以偵測、攔截，不僅被各國在戰場上靈活運用，在平時也能做為偵查的手段，因此強化小型無人機反制系統，需擁有整體戰略應對。

二、小型無人機

無人機發跡於1980年代，更在波斯灣戰爭後的幾場戰役中發揮了相當重要的角色，中共的無人機是在20世紀末期開始迅速發展，藉著軍民融合的發展戰略，先後研製出多種型號軍用無人機，更在商用無人機的領域中，穩佔全球市場第一位。我國近年來也重視無人機發展，市面上小

2 周彥好，無人機夯註冊架數破4.2萬 專業操作證核發逾1.3萬張，聯合報 <https://udn.com/news/story/7266/7542414> (檢索日期：2023年11月1日)。

3 洪潔理，無人機產業發展及未來展望，工商時報，<https://www.ctee.com.tw/news/20221215700917-431307>(檢索日期：2023年11月7日)。

4 《Deptment of Defense Counter Small Unmaned Aircraft Systems Strategy》，U.S. Department of Defense，p.10.

5 《Unmanned Aircraft System Airspace Integration Plan》，March 2011.p.D-3.

型無人機種類繁多，本研究將列舉美國、中共及我國小型無人機種類及其運用方式，思索其反制之道。

(一)美國小型無人機

1. 「渡鴉」式無人偵察機(RQ-11 Raven UAV)⁶：「渡鴉」無人飛行載具是由美國航宇環境公司(AeroVironment Inc.)研製生產的，提供美陸軍排級部隊在作戰任務中執行低空偵、監及目標辨識使用。

「渡鴉」無人機可搭載偵查設備，以手投擲起飛，亦可以由地面導控及運用GPS衛星定位系統設定導航，自動執行任務。其體積小及靜音性能佳，在一定高度以上飛行時，幾乎聽不到聲音，不易偵獲。

2. 「美洲獅」無人機(RQ-20 Puma UAV)⁷：「美洲獅」無人飛行載具由美國航宇環境公司研製生產的，是一種防水的輕型手持式無人機，滯空時間在120分鐘以上，監視範圍可以達到15公里。美國海軍陸戰隊將其用於小型部隊遠距離偵察使用，以彌補「渡鴉」的能力。

3. RQ-14「龍眼」無人機(RQ-14 Dragon eye UAV)⁸：「龍眼」小型無人機系統，主要配備給美海軍陸戰隊的連級部隊，透過手持發射對敵軍目標進行探測和識別，可運用GPS執行飛行路徑規劃，進入目標區後將蒐集資訊及圖片傳回至地面

美國小型無人機

圖示	名稱 / 性能諸元	用途
	RQ-11： 翼展 1.4 公尺，機身 0.9 公尺，最大起飛重 2.2 公斤，滯空時間 75 分鐘，作戰半徑 10 公里，巡航速度 56 公里 / 小時	偵察、監視
	RQ-20： 翼展 2.8 公尺，機身 1.4 公尺，最大起飛重量 5.9 公斤，滯空時間 120 分鐘，作戰半徑 15 公里，最高限速 83 公里 / 小時	偵察、監視
	RQ-14： 翼展 1.1 公尺，機身 0.9 公尺，最大起飛重量 2.7 公斤，滯空時間 45~60 分鐘，作戰半徑：5 公里，巡航速度 65 公里 / 小時	偵察、監視
	Scan Eagle： 翼展 3.1 公尺，機身 1.19 公尺，最大起飛重量 20 公斤，滯空時間 20 小時，最高限速 88~128 公里 / 小時。	偵察、監視

資料來源：作者自行整理

導控站。

4. 「掃描鷹」無人機(Scan Eagle UAV)⁹：「掃描鷹」是美國波音公司和旗

6 RQ-11, AeroVironment, <https://www.avinc.com/uas/raven> (檢索日期：2023年11月7日)。

7 RQ-20 Puma, AeroVironment, <https://www.avinc.com/resources/press-releases/view/aerovironment-introduces-crysalis-a-next-generation-ground-control-solution> (檢索日期：2023年11月7日)。

8 RQ-14, AeroVironment, https://www.avinc.com/resources/press-releases/view/u.s._marine_corps_first_to_procure_four_different_aerovironment_small_unman (檢索日期：2023年11月7日)。

下子公司Insitu合作開發的無人飛行載具系統，美陸軍及海軍陸戰隊將其運用於戰場監偵任務。「掃描鷹」運用氣動彈射器(Super Wedge)發射及回收系統(Skyhook)回收，故無需使用飛行場進行起降，能夠在不同環境中工作，並可透過GPS導引及飛行導控系統，可預先設定操作指令，執行不同類型的任務。

(二)中共小型無人機

1. 「ASN-104」無人飛行載具¹⁰：由中國西北工業大學西安愛生技術集團研製的小型無人飛行載具，用於戰場監、偵任務。系統包含飛行載具及地面導控站，運用火箭助推在發射架上起飛，並使用降落傘回收，不需要機場及跑道，可掛載光學監視系統。

2. 「CH-817」無人機¹¹：由中國航天科技集團公司(China Aerospace Science and Technology Corporation,CASC)研製的背負式小型無人機，其設計由單兵攜帶，其套件包括一架無人機及一個手持操作單元，具垂直起降功能，可用於提升部隊作

戰效能，無人機裝備光學/紅外線感測器(Electro-Optical/Infra-Red,EO/IR)，作為飛行和監偵使用，如果需要執行攻擊任務，可以裝載一個小型爆破單元。

3. 「CH-901」無人機¹²：由中國航天科技集團公司研製，可採單兵、車輛、飛機和無人戰鬥機等多種方式部署，可攜帶3.5公斤高爆彈頭，準備發射時間約為3分鐘，透過光電系統引導找到目標後，俯衝攻擊並引爆其彈頭。

4. 「CH-803」無人機¹³：是一款定翼無人飛行器，具有圓柱形機身和前翼，沒有尾翼，主要用於偵察和監視任務，可透過彈射器發射，並運用降落傘回收。

5. 「CR-500」無人機¹⁴：中國北方工業集團公司研製具有打擊能力的同軸旋翼無人機，可配備光電紅外(EO/IR)感應器，運用卡車裝載地面控制站，根據任務攜帶各種有效載荷，可用於戰場偵察、目標定位、電子戰、通信中繼和損害評估任務。

9 Scan Eagle, Boeing, <https://www.boeing.com/defense/autonomous-systems/scaneagle/index.page> (檢索日期：2023年11月7日)。

10 ASN-104無人機，中文百科，<https://www.newton.com.tw/wiki/%E4%B8%AD%E5%9C%8BASN-104%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F/14111963>(檢索日期：2023年11月7日)。

11 Airshow China 2021: CASC unveils CH-817 micro-surveillance and attack VTOL UAV, <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/airshow-china-2021-casc-unveils-ch-817-micro-surveillance-and-attack-vtol-uav>(檢索日期：2023年11月7日)。

12 CASC CH-901, 維基百科, https://en.wikipedia.org/wiki/CASC_CH-901(檢索日期：2023年11月7日)。

13 CASC Rainbow, 維基百科, https://en.wikipedia.org/wiki/CASC_Rainbow(檢索日期：2023年11月7日)。

14 CR500, JAMES, <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/norincos-cr500-vtol-uav-cleared-for-delivery-to-undisclosed-customer>(檢索日期：2024年1月17日)。

中共小型無人機

圖示	名稱 / 性能諸元	用途
	ASN-104： 翼展 4.3 公尺，機身 3.3 公尺，最大起飛重 14 公斤，滯空時間 120 分鐘，作戰半徑 100 公里，巡航速度：150 公里 / 小時	偵察、監視
	CH-817： 最大起飛重量 0.85 公斤，滯空時間 15 分鐘，作戰半徑 50 公里，巡航速度 64.8 公里 / 小時	偵察、打擊
	CH-901： 翼展 1.2 公尺，最大起飛重量 9 公斤，滯空時間 60 分鐘，作戰半徑 15 公里，巡航速度 64.8-180 公里 / 小時，俯衝最大速度：288 公里 / 小時	偵察、打擊
	CH-803： 翼展 3 公尺，機長 1.8 公尺，最大起飛重量 18 公斤，滯空時間 480 分鐘，作戰半徑 30 公里，巡航速度 80-110 公里 / 小時	偵察、監視



CR-500：
配備光電紅外感應器，可掛載 8 枚反坦克飛彈

偵察、打擊

資料來源：作者自行整理

(三)我國小型無人機

1. 「紅雀無人機」¹⁵：為我國國家中山科學研究院研製(以下簡稱中科院)，中科院參考美軍的「渡鴉無人機」，改良了的滯空能力，系統主要用以強化連級野戰部隊監視能力，即時追蹤目標動向，配合火力單元，提高攻擊成效。系統包括：紅雀無人機載具、地面導控箱、資料鏈模組、全向天線、影像接收模組及攜行背包等，以手擲方式起飛，可導控飛行，地面導控箱站能顯示電子地圖及飛航參數，具備光電酬載，即時下載影像提供部隊研判，任務完成後以傘降方式回收。

2. 「魔眼無人機」¹⁶：中科院研製的旋翼無人機，因旋翼構型便於起降，無人機可即時傳輸影像資料與戰場管理數據到地面站操控(指揮所)，以利部隊早期預警、爭取反應時間。

15 小型紅雀無人機，國家中山科學研究院，https://www.ncsist.org.tw/csistdup/products/product.aspx?product_Id=19&catalog=56(檢索日期：2023年11月7日)。

16 吳賜山，newtalk，<https://tw.news.yahoo.com/%E9%99%B8%E8%BB%8D%E6%8E%A5%E8%A3%9D-%E9%AD%94%E7%9C%BC-%E8%81%AF%E5%85%B5%E7%87%9F%E4%BB%8A%E5%B9%B4%E5%8F%AF%E7%8D%B214%E5%A5%9728%E6%9E%B6%E6%88%B0%E8%A1%93%E5%9E%8B%E6%97%8B%E7%BF%BC%E8%BF%91%E7%A8%8B%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F-121442317.html>(檢索日期：2023年11月7日)。

我國小型無人機

圖示	名稱 / 性能諸元	用途
	紅雀： 翼展 1.3 公尺，機身 1.9 公尺，載重最大起飛重 5.5 公斤，滯空時間 60 分鐘，巡航速度 55 公里 / 小時	偵察、監視
	魔眼： 滯空時間：60 分鐘 作戰半徑：30 公里	偵察、監視
	REVOLVER 860： 翼展 1.06 公尺機身：1.06 公尺，最大起飛重 42 公斤，滯空時間 25-40 分鐘	偵察、打擊

資料來源：作者自行整理

3.REVOLVER 860¹⁷：我國橙昇國際公司研發之輪鼓式投彈無人機旋翼無人機，可攜帶8枚60mm迫擊砲，透過投擲炸彈攻擊地面部隊，並可透過地面控制站進行遙控。

(四)商用無人機

自俄烏戰爭後，無人機良好作戰效益備受國際關注，各國也紛紛積極投入於各個領域，甚至延伸至消費及娛樂應用，用於空拍、攝影等，未來能在各領域創造更多可能。以無人機產業而言，中國大陸擁有較完整的產業鏈，價格較其他品牌便宜，筆者整理前五大商用無人機品牌如

商用無人機品牌

	品牌	國家	產品	備考
1	大疆	中國	DJI Mavic、DJI Air、DJI Mini、DJI Avata、DJI Inspire、DJI FPV、DJI Phantom、DJI Spark、DJI RC 等系列	無人機市占率超過七成
2	昊翔國際	中國	Yuneec H520E	
3	Parrot SA	法國	ANAFI Ai、ANAFI USA	
4	Autel Robotics	美國	EVO Lite、EVO Nano、EVO II Pro V3、EVO II Pro V2、EVO II 等系列	
5	Skydio	美國	Skydio X10、Skydio X10D、Skydio X2	

資料來源：作者自行整理

表，前兩名均為中國大陸品牌。近日我國政府也開始重視無人機發展策略，希望透過統合內需帶動創新技術研發。無人機依構型大致分為固定翼無人機、無人直升機和多旋翼無人機三大類型，其固定翼無人機飛行速度較快，無人直升機靈活性強，可垂直起飛和懸停，多旋翼無人機則介於兩者之間，無論是何種類型，其廣泛及多樣性且在各領域用途均快速的發展。

仿生無人機是運用科技技術將無人機偽裝成自然生物，透過模仿外部型態樣貌的「型態仿生」、光學變色材料的「視覺仿生」及模仿生物運動方式的「功能仿生」等，其體積及飛行軌跡，易被雷達當作雜波過濾故難以偵測，即便被雷達偵獲，其外型也容易騙過人眼，目視難以辨識。近日，中國西北工業大學自主研製的

17 Revolver 860, Dronesvision, <https://dronesvision.com/zh/mortar-revolver-bomber-drone-2/>(檢索日期：2023年11月17日)。

商用無人機

固定翼無人機	無人直升機	多旋翼無人機	雲鵲
			

資料來源：作者自行整理

「雲鵲」號無人機¹⁸，申請了仿生撲翼無人機的吉尼斯世界飛行時長紀錄，可飛行154分鐘，其根據鳥類翅膀上升力大，推動力強的等特點，設計了柔性撲翼，空載起飛重量僅為1公斤，翼展1.82公尺，採用高效仿生驅動系統和微型飛行控制導航，可手拋起飛滑翔降落。此外，雲鵲還可以按照設定的航線飛行，過程中還可以變更航線，仿生撲翼無人機在軍事上運用甚廣，其行為可以像正常鳥類一樣，對敵方監視、偵查、竊聽時不易被敵發現，亦可用作通信中繼及打擊，是戰場上進行情蒐的最佳選擇。

三、小型無人機運用及威脅

《孫子兵法》云：「凡戰者，以正合，以奇勝。故善出奇者，無窮如天地，不竭如江河」，無人機的功能已不斷精進，結合微電子、複合材料、光電及遙控技術等，未來將有更多創新的運用在多維戰場上(包括陸、海、空、太空、網路及電磁頻譜等)，新聞媒體上除了常見到各國大型、精密的高性能軍用無人機運用在

戰場上，更多小型無人機亮眼的表現讓我們不得不重視，包含了運用改裝商用的小型無人機或是自製土造無人機等方式，對交戰對象發動攻擊。

然而在戰場運用之外的承平時，小型無人機的濫用，更使社會面對威脅的複雜度更甚以往，所可能造成的危害，難以用單一面向來作預防，僅能用幾個簡單面向來研討：

(一)戰場運用

1.戰場支援任務：小型無人機具有低雷達反射截面積(RCS)的優勢，雷達不易偵測，運用監偵微型無人機，協助部隊偵察，可有效增加戰場透明度，以利作戰任務遂行，亦可以運用來協助火力彈著修正、武器精準導引及戰果評估，偵蒐、打擊一體及智能化作戰，將會是未來無人機運用的走向。

2.破壞重要目標：小型無人機體積小、飛行高度低，因此雷達可能將其雷達回波視為雜訊自動排除，致使不易偵獲，故運用小型無人機作為遊蕩武器(Loitering

18 中國無人機再破世界紀錄！仿生撲翼連飛154分鐘，西工大再立新功，每日頭條<https://kknews.cc/n/glb3j5e.html>(檢索日期：2023年11月1日)。

Munition)破壞指揮中心、指管系統、通信節點、雷達及目獲系統甚至重要民生基礎設施(煉油廠、發電廠、交通設施)，來癱瘓防衛力量，抑或是對重要人員進行殺傷，造成對方指揮體系混亂，影響戰力維持。

3.複合類型作戰：隨著人工智慧發展，小型無人機「編隊飛行」與「蜂群飛行」不再是困難的技術，針對戰場複雜任務，小型無人機可透過機動載具或無人機航空母艦進行投射，並可運用模組化設計攜掛不同裝備，編成無人機監偵、通訊、打擊等複合型無人機隊，以執行任務。

(二)灰色地帶

美國《特種作戰司令部》發布《灰色地帶白皮書》(White Paper - The Gray Zone)中界定「灰色地帶」是國家或與非國家之間行為者介於傳統戰爭與和平之間的競爭互動¹⁹，中共在運用無人機侵擾金門軍事營區，從目標選定、手段選擇與媒體宣傳，運用灰色地帶來操作衝突，選定非核心利益的標的物，以未達戰爭門檻且非傳統或非常規的武力²⁰，運用低成本的「商用」小型無人機飛越或拍攝影片，透過多樣性的侵擾測試國軍處置作為，儘管未造成人員與設施損傷，但已對軍事安全構成嚴重威脅。

(三)平時威脅

近年來小型無人機在平時所造成的威脅越來越大，2023年3月4日桃園國際機場飛機起降南跑道疑似有無人機活動，事件造成機場暫停起降23分鐘，影響14架次航班；台中國慶煙火市府原先規劃在中央公園以無人機搭載焰火表演，約60臺非經許可的無人機入侵，造成無人機短暫表演後取消。針對大量擴散的商用小型無人機，其掛載的鏡頭引發了更多的犯罪案件，從偷拍到竊取機密的狀況皆有，甚至透過偽裝無線網路連線成為駭客竊取資訊的工具，造成資安事件頻傳，故在平時針對無人機管制及相關侵擾與違法行為防治，是我們要及時解決的問題。

反制手段分析

小型無人機的反制可運用擊殺鏈(F2T2EA)的概念來建置一套完整的防護體系，透過尋找(Find)、辨識(Fix)、追蹤(Track)、鎖定(Target)、打擊(Engage)及評估(Assess)，最後再回到尋找階段，其中針對小型無人機目標發現、辨識、追蹤及鎖定須藉由雷達或是感測系統之偵測，其打擊手段依武器功性能可區分為「軟殺」及「硬殺」，運用「非動能」或「動能」的武器，摧毀無人機，故如何建立對小型無人機完整的擊殺鏈防衛自己，或是透過破壞敵人擊殺鏈步驟，使其作戰任

19 Philip Kapusta, White Paper, The Gray Zone (Florida: United States Special Operations Command, September 9,2015), p.1.

20 鍾志東，中共無人機侵擾外島營區警訊不容小覷，《國防安全雙週報》第62期，2022年9月，頁1-6。

務失效，便成為我們所要精進的課題。依《Global Anti-drone Market 2023-2027》²¹反制無人機的市場規模在2022年至2027年間，預測將成長到34億6,965萬美元，期間內預計將以27.56%的年複合成長率增長；故如何有效反制無人機並整合相關產業鏈，是我國面臨的重大課題之一。

一、反制手段

(一)偵測

1.雷達(RADAR)：反制無人機運用的雷達大致分為主動雷達及被動雷達兩種，主動雷達可將電磁波發射至空間之中，藉由接收空間內無人機反射之電波，計算出方向、高度、速度及相對距離，甚至可以探測物體的形狀。被動雷達本身並不發射電磁波，而是通過接收對方發射或者反射過來的電磁波進行定位和測距，隨著小型無人機在戰場上普遍運用，小型化、可攜式及方便機動的偵測雷達也隨之而生，例如我國創未來科技公司研製的「T.Radar Pro」²²，僅14公斤的機身可以實現超過4公里的探測距離，可供部隊快速部署。

2.光電及紅外線感測器(EO/IR)：紅外線具有反射、折射、散射、干涉、吸收等物理特性，感測器運用包括光學系統及檢測元件和用來偵測無人機在飛行時所產

生的溫度，具有靈敏度高，反應快等優點。

3.頻譜分析儀：頻譜分析儀是測量頻譜的儀器，針對無人機運用的頻率(GPS、BD定位、遙控及數據鏈路)測量，通過分析電子信號，可觀察到其主要頻率、功率等資訊，進而偵測無人機之方向，相關資訊可整合進無人機防禦系統。

(二)軟殺

1.電磁干擾：小型無人機的飛行及操縱，主要靠著衛星定位、遙控及數據鏈通訊，衛星定位所使用的頻率以全球定位系統(GPS)及北斗衛星系統(BDL1、BDL2)為主，而遙控及數據鏈通訊頻率國內目前可用的為2.4GHz和5.8GHz等二頻段，其中多採遙控2.4GHz、圖傳系統5.8GHz來避免訊號間相互干擾²³。隨著通訊科技的進步，現行無人機的訊號大多會採取跳頻展頻(Frequency-hopping spread spectrum, FHSS)技術來防止訊號干擾，但若能找出其跳頻範圍，也能夠使用高功率設備暴力覆蓋頻段以干擾無人機。

2.網路攻擊：網路攻擊者運用「中間人攻擊」(Man-in-the-Middle attacks)，分別與無人機及操作者建立不同獨立的網路，並交換其所收到的資料，使兩端皆認

21 Global Anti-drone Market 2023-2027，日商環球訊息有限公司(GII)，<https://www.gii.tw/report/inf1267524-global-anti-drone-market.html>(檢索日期：2023年11月7日)。

22 T.Radar Pro，Tronfuture，<https://www.tronfuture.com/tw/product/t-radar-overview>(檢索日期：2024年1月27日)。

23 洪潔理，工商時報，無人機產業發展及未來展望，<https://www.ctee.com.tw/news/20221215700917-431307>(檢索日期：2023年11月7日)。

為連線正常，但事實上整個飛行行動都被攻擊者完全控制，並可改變及賦予無人機的飛行資訊與目標指令；另一般市售無人機皆有連接Wi-Fi的功能，攻擊方可以運用在無線網路中持續發送解除授權的訊號來強制無人機裝置斷開連接，進而失去控制。

3.定位訊號偽冒(Spoofing)²⁴：GPS訊號一般含有這三種成分載波、測距碼及導航電文等三部分，衛星星歷資料(Ephemeris Data)為公開資訊民用測距碼多為明碼傳輸，因此可以進行偽造假的GPS訊號欺騙無人機中的GPS接收器進而誤導其定位位址。伊朗革命衛隊在2019年公布他們捕獲了美軍MQ-9大型武裝無人機²⁵，伊朗工程師透露他們首先干擾無人機通信，切斷無人機與地面控制系統的通信後，無人機就進入自動駕駛狀態，接著運用GPS導航系統的漏洞虛構GPS座標，引導其降落在伊朗境內。

(三)硬殺

1.傳統武器：運用步槍、機槍、砲彈等武器攔截無人機，使用這種方式需要運用導引系統追蹤及精確打擊，且精準彈藥或飛彈成本相較於無人機本身價值更高，在人口密集處亦有誤傷之風險，在使用時

需要審慎考量。

2.高能雷射：運用高功率雷射或高能微波等武器燒燬無人機電子元件，或對其主要感測器光電系統造成損傷或干擾。高能雷射可配備在機動車輛、船艦或是機場等關鍵設施上，除了供電因素，對付小型無人機所需的成本極低，故高能雷射武器是一個可以發展的方向。

3.捕捉網：將捕捉網設計在槍枝內朝目標射擊或以小型無人機附掛捕捉網將無人機捕獲，惟網槍射擊距離較短，小型無人機附掛捕捉網在建築密集環境亦有被建築物纏住之風險，故在捕獲目標之前，亦是需要評估使用時機。

4.動物捕捉：自古以來，人類運用鳥類進行狩獵，到了現代亦可訓練老鷹來獵捕非法小型無人機²⁶，基於老鷹自然狩獵本能，可在空中快速識別無人機，並將其抓捕，針對反制小型無人機是非常有效的方案，但其缺點需要大量的人力，且在機場附近運用飛禽捕捉亦會影響飛航安全。

5.無人機反制無人機：運用自主攻擊無人機，由一架低成本、可消耗的無人機，以撞擊或自爆方式來摧毀目標無人機，惟如同使用武器攔截，無人機碰撞失控墜落時亦可能會造成意外傷害。

24 資安百物語：反無人機技術，<https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10218551> (檢索日期：2024年1月7日)。

25 絕對軍視，每日頭條，<https://kknews.cc/zh-tw/world/pygl96p.html> (檢索日期：2023年11月7日)。

26 荷蘭警方制空出新招 訓練老鷹抓無人機，BBC News 中文，https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world/2016/09/160912_world_dutch_eagles_drones (檢索日期：2023年11月7日)。

無人機硬殺手段

傳統武器	高能雷射	無人機捕捉網	老鷹抓無人機
			

資料來源：作者自行整理

反制手段優劣分析表

反制手段		優點	缺點及限制因素
軟殺	電磁干擾	可大範圍反制無人機	●需針對目標運用頻段進行干擾 ●範圍內亦會影響我軍裝備
	網路攻擊	可改變目標無人機的飛行指令	●透過 Wi-Fi 網路攻擊受距離限制 ●需掌握目標無人機安全漏洞
	定位訊號偽冒	可偽冒目標無人機的位置	偽冒訊號需大於原衛星接收訊號，受與目標無人機遠近距離限制
硬殺	傳統武器	發射成本較精準武器彈藥低	●需導引系統方能精確打擊 ●在人口密集處亦有誤傷之風險
	高能雷射	發射成本低廉	●受天氣影響大，陰雨霧霾皆會影響武器效能 ●供電限制，儲能設備體積較大
	捕捉網	捕捉網可回收運用	受發射距離及人員操作技術限制
	動物捕捉	動物自然狩獵本能可快速抓捕無人機	●飼養動物需專業技術，無法大量培育 ●無法精準操控動物，在機場附近易影響飛航安全

資料來源：作者自行整理

二、無人機反制系統探討

(一)美國

美國國防部《反制小型無人機系統戰略》指出小型無人機系統(Small unmanned aircraft systems, sUAS)數量呈等比級數增加²⁷，請美陸軍作為統籌負責反制小型無人機系統，成立「聯合反小型無人機飛行系統辦公室」(Joint C-sUAS Office, JCO)，JCO指出反制無人機將是一

套系統化的途徑，希望建立管理及通用技術標準，有效整合無人機反制系統發展，減少重疊，其系統必需具備通用的組件以及相互整合性，以下就幾款無人機反制系統介紹：

1.美陸軍的「低速、慢速、小型無人機綜合防禦系統(Fixed Site-Low, Slow, Small UAV Integrated Defeat System, FS-LIDS)」²⁸：由SRC Technology公司為美

27 《Deptmt of Defense Counter Small Unmaned Aircraft Systems Strategy》，U.S. Department of Defense，p.3.

28 US approves FS-LIDS counter-UAV system for Qatar，JANES，<https://www.janes.com/defence-news/news-detail/us-approves-fs-lids-counter-uav-system-for-qatar>（檢索日期：2023年11月14日）。

國陸軍所開發，結合AN/TPQ-50雷達和光電/紅外線感測器來檢測和追蹤小型無人機，具有可互相整合的軟體及硬體，並使用電子戰系統或Coyote無人機攔截器進行攻擊，可搭配與雷神公司的Ku波段無線電頻率系統(KuRFS)多功能雷達一起使用，適合在複雜的環境中精準識別小型無人機。

2. 「輕量化機動式防空整合系統Light Marine Air-Defense Integrated System, LMADIS)」²⁹：LMADIS使用RPS-42雷達，提供360度的監視和檢測無人機的能力，並配備了光學/紅外線感測器及電子戰系統，以干擾敵方無人機通訊及電子訊號，可安裝在機動車輛上，可以通過空運在艱苦環境中部署。

3. 「戰術高功率任務回應機(Tactical High Power Operational Responder, THOR)」³⁰：是一種由美國開發的短程定向高能量武器，其目的在有效打擊小型無人機群，系統運用高能微波直接瞄準目標，削弱無人機間數據鏈路或破壞其電子

元件，可以放置在一個20英尺的貨櫃中，機動部署。

(二)以色列

以色列在2023年10月7日遭巴勒斯坦激進組織哈瑪斯(Hamas)襲擊後，大量收購現成的小型民用無人機，在哈瑪斯襲擊後的數週內，已經有數千架民用無人機運往以色列，進行監視敵人、尋找生還者及諜報等任務，在衝突期間，哈瑪斯也運用小型無人機侵襲以色列，相信隨著衝突加劇，雙方都可能會更頻繁在戰場上使用無人機。以色列的無人機技術相當先進，然而，在情勢複雜的中東地區，以色列也同樣必須面對小型無人機的襲擾，故其發展的無人機反制系統也特別有名：

1. Drone Dome³¹：由以色列軍工公司(Rafael Advanced Defense Systems)開發的反制無人機系統，該系統裝有不同的感測美國無人機反制系統



資料來源：作者自行整理

29 JOE SABALLA, The Defense Post, https://www.thedefensepost.com/2022/11/24/us-marines-lmadis-counter-drone-system/?expand_article=1(檢索日期：2023年11月14日)。

30 USAF eyes high-power microwave for directed energy weapons as tech advances, JANES, <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/usaf-eyes-high-power-microwave-for-directed-energy-weapons-as-tech-advances>(檢索日期：2023年11月14日)。

31 DRONE DOME(r) - C-UAS, RAFAEL, <https://www.rafael.co.il/worlds/air-missile-defense/c-uas-counter-unmanned-aircraft-systems>(檢索日期：2023年11月14日)。

器，包括RPS-42半球形多任務雷達(S波段)、目標成像系統以及無線電訊號探測器，並於2019年12月在以色列南部首次展示高能雷射武器，包括對"多個機動目標"的檢測、追蹤和攔截，是一個全天候且360°對小型無人機反制系統，其模組化架構可整合監視系統、通信模組、檢測感應器系統及高能雷射系統，並由演算法支持，有效執行目標防護。

2.ReDrone³²：由以色列Elbit Systems公司研製新型反制無人機系統(C-UAS)，可被動地檢測小型無人機，具整合DAiR雷達、電子攻擊、光電系統和信號情報(SIGINT)傳感器能力，檢測範圍覆蓋360°，偵測距離約3至4公里，而光電系統能在1公里外識別無人機，信號情報感測器支援頻段掃描，可偵測無人機方向，隨後中斷目標其通信鏈路和GPS訊號，接管無人機並在特定位置安全降落，模組化的設計可依實際需求擴充更多功能。

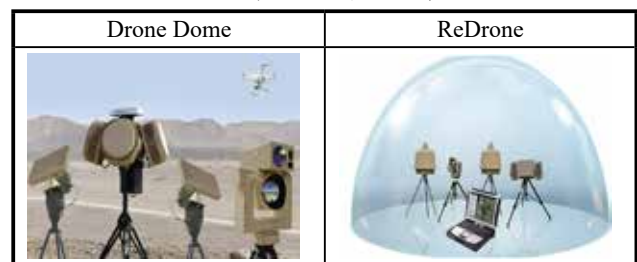
(三)我國現用無人機反制系統

2022年8月金防部二膽島遭到「民用」無人機侵擾³³，中共除了運用小型商用無人機測試我方應變作為之外，同時製造錯假訊息，散布於網路社群，以達到分化、詆毀國軍的目的，對此，國防部也採

取了強硬的反制措施，除了運用步槍射擊之外，也運用無人機干擾槍來可切斷無人機GPS導航訊號，迫使其降落，展現軟、硬殺同步反擊的能力；另針對飛行基地及重要防護目標，國軍也運用中科院「無人機防禦系統」來應對小型無人機³⁴，運用主、被動雷達及目獲系統偵測，結合射頻干擾系統，對闖入管制區內的無人機執行軟殺。

針對闖入民航機場管制區的遙控無人機亦對飛行安全造成嚴重威脅，動輒影響航班起降，松山機場除了負擔首都空中運輸，且有軍事、救援等重要功能，故民航局松山機場自2020年10月起與中科院合作試辦無人機防制系統計畫³⁵，在管制區範圍內設置了八處監控站，利用主、被動雷達、光電目獲、射頻干擾等系統，偵測闖入機場管制區內無人機活動，並將相關資訊提供民航站與警方。

以色列無人機反制系統



資料來源：作者自行整理

32 ReDrone-Counter Drones System, Elbit Systems, <https://elbitsystems.com/product/redrone>(檢索日期：2023年11月14日)。

33 蘇龍麒，中央通訊社，金防部：3架次民用無人機侵擾，國軍實彈射擊驅離，<https://www.cna.com.tw/news/aip/202208310376.aspx>(檢索日期：2023年11月14日)。

34 無人機防禦系統，國家中山科學研究院，https://www.ncsist.org.tw/csistdup/products/product.aspx?product_Id=329&catalog=37(檢索日期：2023年11月13日)。

35 曹悅華，聯合報，<https://udn.com/news/story/7934/6008830>(檢索日期：2023年11月17日)。

三、現況分析

在金門遭受中共小型無人機侵擾之後，國軍現行也針對小型無人機訂定反制作法，除運用干擾槍、捕捉網或是步槍等單兵操作武器，後續亦委請中科院建置遙控無人機防禦系統在機場進行防制，然而，面對更多樣性的小型無人機威脅，僅軍方既有的反制措施顯然是不足的，以下就國軍既有指管系統，防空火力、共同作戰圖像及法規等方面進行分析：

(一)指管系統

國軍現有指管系統計有聯戰指管系統(迅安系統)、空軍的寰網系統、海軍的聯成系統以及陸軍委託中科院建置中的地面部隊指管系統，針對大型無人機，因其體積大、雷達系統可有效偵獲，故可運用寰網系統整合相關情資形成共同作戰圖像，指揮官可依此運用防空兵火力或電戰手段進行反制，然而，對於小型無人機，其體積小、雷達系統可能將其視為雜波濾掉，若敵運用大量無人機執行蜂群戰術時，極易對我指管系統造成負荷，消耗系統資源，其指揮及管制亦有其困難度，再者，小型無人機除了針對軍事設施，其民用的基礎設施防護及平時的危害防制亦是我國未來的重點目標，故小型無人機不應納入軍方指管系統管制，而應該新建管制系統，並結合國防、民航、警政等各機關部門來有效整合。

(二)防空火力運用

依國軍整體防空作戰構想，空中接戰及指管係由聯合空中作戰中心(JAOC)管制，為有效執行防空分層劃責、簡化指揮機制、整合武器系統，遂行聯合防空任務，針對短程防空已移由各作戰區區域防空作戰中心(TAAOC)管制，惟針對小型無人機襲擾反應時間短及數量多的特性，在命令傳達及處置上極其複雜，且無共同作戰圖像，針對其襲擾行為的判定困難，使作戰區指揮官難以下達作戰決心及協調兵(火)力運用。

(三)共同作戰圖像

國軍迄今為止，除了中科院建置的遙控無人機防禦系統，可顯示鄰近的無人機飛行狀況，惟僅能在基地內監看，相關情資無法分享，為肆應小型無人機威脅，國軍應積極掌握各國科技發展趨勢，建立無人機的共同作戰圖像，除了強化各重要軍事設施防護措施，並應囊括國家民生基礎設施及重要政、經處所，整合既有的資源發展多元共同作戰圖像。

(四)法規管制

隨著無人機發展的進步，各相關法律也相繼出臺，然而，在平、戰之間或是軍事與非軍事之間，相關法規或處置作為仍應該再精進。104年11月19日行政院會通過《要塞堡壘地帶法》修正草案³⁶，將《要塞堡壘地帶法》更名為《戰略要域管

36 行政院會通過「要塞堡壘地帶法」及「國家安全法」部分條文修正草案，(中華民國行政院，民國112年9月)，<https://www.ey.gov.tw/Page/9277F759E41CCD91/28df5c11-988d-44bb-88d3-a253427d1fe4>(檢索日期：2023年11月7日)。



制法》，其中「戰略要域」將依國防安全及軍事需要劃定，其範圍由國防部會商有關機關劃定公告後始生效，其戰略要域上空劃設之限航區及禁航區，將依《民用航空法》³⁷辦理。《民用航空法》³⁷第99條之13第5項則規定了「未經同意進入禁航區、限航區活動之遙控無人機，由禁航區、限航區之管理人採取適當措施予以制止或排除。」必要時，得通知民航局會同警察機關取締；另《國家安全法》第6條第1項規定，由國防部會同內政部針對指定海岸、山地或重要軍事設施地區，劃為管制區，惟僅限制人員出入，相關測量、錄影、攝影等偵察行為未於該法內進行規範。相關法規描述了軍方除了在禁、限航部分是要依《民用航空法》辦理，針對違法活動須會同警察部門執行取締及制止，在處置時效上對我軍事安全仍有一定的風險。

然而在中共「灰色地帶」的侵擾下，不僅僅是軍事設施受到影響，在民生基礎設施(例：發電廠、衛星中心、煉油廠等)亦是敵攻擊的目標，如何有效結合各部會相關部門的資源，訂定相關的處置作為，進而發展相關的法規，是當前相當重要的任務。

我國無人機反制作為發展與建議

我國在112年國防報告書說明國軍依打、裝、編、訓之建軍規劃思維³⁸，前瞻未來敵情威脅、科技發展、戰爭型態與作戰場景，依防衛作戰需求發展不對稱之戰力，支持國軍達成各項任務，小型無人機對我威脅遽增，除軍事威脅之外，對民生基礎設施、重要政經中心處所及交通樞紐亦是防護之對象，針對我國小型無人機反制手段建議如下：

一、技術研發

軍事科技的研發，國防部軍備局都會經過嚴謹的建案程序來投資，然而國防資源有限及研發機構缺乏行政機構統合，部分新興科技難以肆應環境快速變化與需求，再者，國內無人機法規嚴格及配套措施不完善，亦會限制商用市場的發展潛力，因此，透由軍民融合，由國防工業、軍工企業分享相關技術，科技成果技轉至民間廠商，民用基礎設施、建築和物流也可以支持國防，推動軍、民用資源共享，促進無人機及反制技術發展。

目前行政院也成立了「國防科技發展推行委員會」，由國防部召集經濟部及科技部共同推展，隨著無人機飛行載具及無人駕駛技術產業發展，更應將交通部納入整合，使國防企業參與民間企業能交流研究並提升關鍵技術，強化國防自主能力，同時帶動民間產業及經濟效益有很大幫助，下面就無人機反制技術列舉提供參

37 《民用航空法》，全國法規資料庫，<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=K0090001>(檢索日期：2023年11月7日)。

38 《中華民國112年國防報告書》(國防部，民國112年9月)，頁68。

考：

(一)監偵技術

相較於傳統雷達，針對小目標的監偵技術，更是我們應該發展的方向，包含電磁波偵測、光學及紅外線偵測等關鍵技術，另針對無人機導控、情傳鏈路等電磁訊號擷取技術，亦是未來需發展的項目，多面向的技術發展，更能有效的反制無人機。

(二)高能武器

研發具備高功率雷射及微波武器，除了透過瞬間高功率指向性能量燒燬其電子元件，亦可直接摧毀小型無人機或干擾大型無人機的光電感測系統，其涵蓋廣的特性，是對付無人機群集的利器，高功率雷射及微波武器雖說易受天候及環境影響等限制，但在與中共軍力不對等的條件下，發展出適合我國的高能武器，將其納入火協運用，輔助傳統火力來執行防空任務，亦符合不對稱作戰的思維。

(三)人工智慧(Artificial Intelligence, AI)

人工智慧是藉感知周遭環境並採取行動，透過演算法來最大限度地做出合理的決策，提高成功機會。人工智慧的運用也從產業向國防領域擴展，可結合無人飛行載具即時蒐集並分析數據，並運用深層學習，作為指揮調度的研判，進而避免人員損失。中共的無人機已開始結合人工智慧，操控及蜂群技術已有一定成果，因此，在反制小型無人機的作法中也應該結合人工智慧，根據偵蒐之數據研判敵意圖

及可能行動，進而加以預防並有效以強化反制系統能力，相關技術應以國家的力量來統合，且與民間企業結合，提升未來的產業布局。

(四)數據鏈路

數據鏈路在軍事領域上已運用非常廣泛，如美國與北約的Link-16及Link-22及中共的DTS-03、XS-3，皆是透過網路的鏈結來協同作戰，相對的在無人機運用領域上，無論是蜂群攻擊、忠誠僚機(Loyal wingman)或是編隊飛行，都需要數據鏈路及通訊傳輸等科技，未來，亦可整合至無人機防禦系統，結合反制武器及在空之我方無人機形成有效防護網，來面對新型態的威脅。

二、系統整合

(一)模組設計

在當今現代戰爭中，無人機技術的發展為軍事和民用領域帶來了嶄新的挑戰，為了應對不斷增加的威脅，反制無人機系統的發展關鍵特點就是整合性，使得軟、硬殺武器能夠協同工作，形成更有效的無人機防禦網，例如運用先行擾亂無人機的通信，使其失去導航能力，然後以武器硬殺。這種協同作戰能力提高了系統的整體效能，其模組化就是系統設計的方向，系統具有可擴展性，依不同任務進行調整，提供全方位的保護。

(二)電戰能力

中共的無人機結合人工智慧，在導控、蜂群技術、數據鏈路與仿生科技快速發展，並結合商用的小型無人機作為作戰



手段之一，面對新型態威脅，電戰裝備除了運用在傳統的軍事作用外，針對無人機反制也是非常有效的，除了消耗低廉，可重複使用，減少彈藥成本，其作業時效短，針對小型無人機的猝然行動更是能快速應對，整合進無人機防禦系統，將會對整體防護效能更進一步提升。

然而，運用電戰裝備干擾小型無人機須謹慎使用，在其指向性及高能量的作用下，亦會影響到我方裝備及設施，因此，強化戰場電磁頻譜管理，適時、適地的運用各電戰裝備，提升各級指揮官戰場管理能力，盡可能簡單化戰場避免誤擊友軍，才能有助於聯合作戰任務。

(三)共同圖像

現今戰場以多架小型無人機編隊運用，進行各種複合型任務已是常態，如監視、通信中繼或打擊等，透過通信技術達到機隊間相互協調，實現整體作戰目標。相對的，反制無人機系統也應整合各式偵測設備建立共同圖像，提供即時資訊並支援指揮決策，不僅僅是在軍事設施上，針對重要的政、經中心、關鍵基礎設施或交通系統等，更應該協同管制。共同圖像之系統應由行政院整合各部會及機關需求發展，並搭配行動APP，配賦軍、警及相關機關業管部門，有效縮短處置及應變

程序，系統亦可由民間通訊業者企業行動數據虛擬專用網路MDVPN(Mobile Data Virtual Private Network)服務來串聯³⁹，有效的與智慧型行動裝置結合，強化執法效率，其系統蒐整及偵測之電磁紀錄亦可作為證據及執法取締之依據。

三、政策法規

(一)國家資源整合

2022年8月13日我國正式成立「亞洲無人機AI創新應用研發中心」，建立「無人機國家隊」，⁴⁰目前政府正研擬「臺灣無人機產業發展方案」，針對技術、驗證、市場及人才等面向規劃發展策略；交通部也在2022年3月，帶領業者成立「臺灣無人機大聯盟」，結合無人機技術研究以及產官學研能量，協助政府推動無人機產業發展，並拓展到更多層面的應用。除了成立「無人機國家隊」，反制無人機也應該是我們發展的重點，小型無人機的威脅已不僅是針對國軍及軍事設施，社會各層面均面臨到深切的挑戰，針對重要目標防護、科技研發、資源整合、法規制度、產業發展到無人機的軍事及國家戰略，都需要各部會互相協調，相互支援，更有民間公司掌握了商機，致力於發展無人機反制技術⁴¹，因此「反制無人機國家隊」應是我們未來努力的重點。

39 MDVPN行動數據群組企業網路，中華電信，<https://www.cht.com.tw/home/enterprise/mobile/enterprise-data/mdvpn>(檢索日期：2023年11月7日)。

40 總統出席「亞洲無人機AI創新應用研發中心開幕記者會揭牌儀式」，中華民國總統府，<https://www.president.gov.tw/NEWS/26878>(檢索日期：2023年11月7日)。

41 T.Radar Pro，Tronfuture，<https://www.tronfuture.com/tw/product/t-radar-overview>(檢索日期：2024年1月17日)。

(二)明確反制權責

小型無人機因體積小且多採低空、慢速飛行，雖各作戰區內整合短程防空兵(火)力統一運用，惟各式雷達系統針對目標及其航跡捕捉效率仍有待商榷，更遑論整合火力單元執行硬殺。因此，除建置小型無人機共同作戰圖像在同一平臺作業，應邀集各部會有關部門協調，參照分散式指管概念⁴²，在戰略要域及軍事設施兵(火)力及武器運用，充分授權各級部隊指揮官，重要政經中心及關鍵基礎設施，可透由協防之地面部隊、憲警及相關機關人員防護，藉明訂反制權責並建立完善協調機制，以增加防護能量。

(三)完善法律規範

《民用航空法》針對遙控無人機，已有一定的規範，然隨著科技進步及中共運用民用無人機進行「灰色地帶」的侵擾下，無人機的管理及相關法規不僅在國防領域適用，更囊括了航空、交通、經濟與科技，其管制法規應適時檢討調整，並建立跨部會規劃管理機制，與時俱進。

無人機影響飛航安全的狀況越來越多，政府更應就其管理面進行探討，小型商用無人機，在進口或出廠時，應針對其序號、WiFi SSID等資料進行管制，未來可建立無人機管制系統，結合無人機共同圖像，可有效辨別是否合法申請及判明意圖，若有涉及違法無人機行為，其相關機型資料、飛行及電磁紀錄等都可以作為執

法機關取締或數位鑑識使用。

(四)強化教育訓練

我國迄今尚未傳出小型無人機的致命威脅，但在戰爭中小型無人機作為攻擊武器屢見不鮮，針對臺海情勢緊張，我國應加強教育訓練，使其對無人機反制應處程序熟稔，瞭解相關法規，並能預判威脅源潛在意圖，掌握其可能造成的危害。在處置過程中，無人機干擾或擊毀墜落容易造成傷亡，各級部隊指揮官在處置時應掌握其航線，使用武器之操作手更應注意射界，避免誤傷。小型無人機的運用亦可用於演訓中作為假想敵，對我重要處所模擬攻擊，驗證單位防護能力。

結 論

小型無人機的快速發展以及大量擴散，對各領域都造成了威脅，對於無人機運用在軍事衝突、平時或是中共灰色地帶的挑戰，不論是無人機及反制系統產業推展、重要目標防護、推動各項法規及應處程序修訂，都需要政府各部門及民間相互合作，透過「軍民融合」發展戰略將無人機及其反制手段列為國防自主的重要項目。

人工智慧技術隨著先進的演算法和深度學習進步，在無人機的發展中更是結合了智能化角色，使得無人機加速應用於軍事領域中，運用蜂群編隊、目標監偵、協同作戰及精準打擊等技術，大幅縮短擊

42 《中華民國112年國防報告書》(國防部，民國112年9月)，頁73。

殺鏈完成時效，在過程中，降低人員傷亡、低成本及有效打擊等特性，已在俄烏戰場及以哈衝突中得到了驗證，面對小型無人機威脅，各國的無人機反制系統如雨後春筍般的發展，在可機動投入戰場及能有效整合各式武器的前提下，採「模組化、可擴充」為主要原則來設計。

我國除了運用國防資源來發展無人機反制系統，更應統合民間研究資源，建立共同作戰圖像、發展先進電戰技術、精準偵測設備、高效能反制武器及整合軟、硬殺(擊殺)武器，並運用不對稱手段有效反制。在人員教育訓練上，更應強化危機意識，瞭解小型無人機能力與威脅及反制程序，具備相關知識，正確運用反制武器，並充分授權各級部隊指揮官，可有效縮減接戰時限及指管程序，才能有效降低小型無人機造成的危害。

參考文獻

一、中文部分

(一)專書

- 1.《中華民國112年國防報告書》(國防部，民國112年9月)。

(二)期刊論文

- 1.鍾志東，中共無人機侵擾外島營區警訊不容小覷，《國防安全雙週報》，第62期，2022年9月，頁1-6。

(三)網際網路

- 1.盧逸峰，聯合報，無人機入侵空域害桃機暫停起降34分鐘千人受影響<https://udn.com/news/story/7266/6481256>(檢索日期：2023年11月1日)。

- 2.周彥妤，無人機夯註冊架數破4.2萬專業操作證核發逾1.3萬張，聯合報 <https://udn.com/news/story/7266/7542414> (檢索日期：2023年11月1日)。
- 3.洪潔理，工商時報，無人機產業發展及未來展望，<https://www.ctee.com.tw/news/20221215700917-431307>(檢索日期：2023年11月7日)
- 4.A S N - 1 0 4 無人機，中文百科，<https://www.newton.com.tw/wiki/%E4%B8%AD%E5%9C%8BASN-104%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F/14111963>(檢索日期：2023年11月7日)
- 5.Airshow China 2021: CASC unveils CH-817 micro-surveillance and attack VTOL UAV，<https://www.janes.com/defence-news/news-detail/airshow-china-2021-casc-unveils-ch-817-micro-surveillance-and-attack-vtol-uav>(檢索日期：2023年11月7日)
- 6.CASC CH-901，維基百科，https://en.wikipedia.org/wiki/CASC_CH-901(檢索日期：2023年11月7日)
- 7.CASC Rainbow，維基百科，https://en.wikipedia.org/wiki/CASC_Rainbow (檢索日期：2023年11月7日)
- 8.CR500，JAMES，<https://www.janes.com/defence-news/news-detail/norincos-cr500-vtol-uav-cleared-for-delivery-to-undisclosed-customer>(檢索日期：2024年1月17日)
- 9.小型紅雀無人機，國家中山科學研究院，https://www.ncsist.org.tw/csistdup/products/product.aspx?product_Id=19&catalog=56(檢索日期：2023年11月7日)

- 月7日)
- 10.吳賜山，newtalk，<https://tw.news.yahoo.com/%E9%99%B8%E8%BB%8D%E6%8E%A5%E8%A3%9D-%E9%AD%94%E7%9C%BC-%E8%81%AF%E5%85%B5%E7%87%9F%E4%BB%8A%E5%B9%B4%E5%8F%AF%E7%8D%B214%E5%A5%9728%E6%9E%B6%E6%88%B0%E8%A1%93%E5%9E%8B%E6%97%8B%E7%BF%BC%E8%BF%91%E7%A8%8B%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F-121442317.html>(檢索日期：2023年11月7日)
- 11.Revolver 860，Dronesvision，<https://dronesvision.com/zh/mortar-revolver-bomber-drone-2/>(檢索日期：2023年11月17日)
- 12.每日頭條，米爾防務，中國無人機再破世界紀錄！仿生撲翼連飛154分鐘，西工大再立新功 <https://kknews.cc/n/glb3j5e.html>(檢索日期：2023年11月1日)
- 13.Global Anti-drone Market 2023-2027，日商環球訊息有限公司(GII)，<https://www.gii.tw/report/infi1267524-global-anti-drone-market.html>(檢索日期：2023年11月7日)
- 14.T.Radar Pro，Tronfuture，<https://www.tronfuture.com/tw/product/t-radar-overview>(檢索日期：2024年1月27日)
- 15.洪潔理，工商時報，無人機產業發展及未來展望，<https://www.ctee.com.tw/news/20221215700917-431307>(檢索日期：2023年11月7日)
- 16.資安百物語：反無人機技術，<https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10218551>，(檢索日期：2024年1月7日)
- 17.絕對軍視，每日頭條，<https://kknews.cc/zh-tw/world/pygl96p.html>(檢索日期：2023年11月7日)
- 18.荷蘭警方制空出新招 訓練老鷹抓無人機，BBC News 中文，https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world/2016/09/160912_world_dutch_eagles_drones(檢索日期：2023年11月7日)
- 19.蘇龍麒，中央通訊社，金防部：3架次民用無人機侵擾，國軍實彈射擊驅離，<https://www.cna.com.tw/news/aip1/202208310376.aspx>(檢索日期：2023年11月14日)
- 20.無人機防禦系統，國家中山科學研究院，https://www.ncsist.org.tw/csistdup/products/product.aspx?product_Id=329&catalog=37(檢索日期：2023年11月13日)
- 21.曹悅華，聯合報，<https://udn.com/news/story/7934/6008830>(檢索日期：2023年11月7日)
- 22.行政院會通過「要塞堡壘地帶法」及「國家安全法」部分條文修正草案，(中華民國行政院，民國112年9月)，<https://www.ey.gov.tw/Page/9277F759E41CCD91/28df5c11-988d-44bb-88d3-a253427d1fe4>(檢索日期：2023年11月7日)
- 23.《民用航空法》，全國法規資料庫，<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=K0090001>(檢索日期：2023年11月7日)

24. MDVPN行動數據群組企業網路，中華電信，<https://www.cht.com.tw/home/enterprise/mobile/enterprise-data/mdvpn>(檢索日期：2023年11月7日)
 25. 總統出席「亞洲無人機AI創新應用研發中心開幕記者會揭牌儀式」，中華民國總統府，<https://www.president.gov.tw/NEWS/26878>(檢索日期：2023年11月7日)
 26. T.Radar Pro，Tronfuture，<https://www.tronfuture.com/tw/product/t-radar-overview>(檢索日期：2024年1月17日)
- ## 二、外文部分
- ### (一)專書
1. 《Deptment of Defense Counter Small Unmaned Aircraft Systems Strategy》，U.S. Department of Defense。
 2. 《Unmanned Aircraft System Airspace Integration Plan. 》March 2011
 3. Philip Kapusta, White Paper, The Gray Zone (Florida: United States Special Operations Command, September 9, 2015)
- ### (二)網際網路
1. RQ-11，AeroVironment，<https://www.avinc.com/uas/raven>(檢索日期：2023年11月7日)
 2. RQ-20Puma，AeroVironment，<https://www.avinc.com/resources/press-releases/view/aerovironment-introduces-crysalis-a-next-generation-ground-control-solution>(檢索日期：2023年11月7日)
 3. RQ-14，AeroVironment，https://www.avinc.com/resources/press-releases/view/u.s._marine_corps_first_to_procure_four_different_aerovironment_small_unman(檢索日期：2023年11月7日)
 4. ScanEagle，Boeing，<https://www.boeing.com/defense/autonomous-systems/scaneagle/index.page>(檢索日期：2023年11月7日)
 5. US approves FS-LIDS counter-UAV system for Qatar，JANES，<https://www.janes.com/defence-news/news-detail/us-approves-fs-lids-counter-uav-system-for-qatar>(檢索日期：2023年11月14日)
 6. JOE SABALLA，The Defense Post，https://www.thedefensepost.com/2022/11/24/us-marines-lmadis-counter-drone-system/?expand_article=1(檢索日期：2023年11月14日)
 7. DRONE DOME(r) - C-UAS，RAFAEL，<https://www.rafael.co.il/worlds/air-missile-defense/c-uas-counter-unmanned-aircraft-systems>(檢索日期：2023年11月14日)
 8. ReDrone-Counter Drones System，Elbit Systems，<https://elbitsystems.com/product/redrone>(檢索日期：2023年11月14日)

作者簡介

黃致豪少校，中正理工學院電機系99年班、陸通校資通安全軍官正規班104年班。曾任排長、通信官、資訊官、系統工程官。現為國防大學空軍指揮參謀學院學員。

潘宜輝上校，中正理工學院85年班、國防大學空軍指揮參謀學院98年班、國防大學理工學院博士。曾任分隊長、教官、副講座、講座、助理教授。現任國防大學空軍指揮參謀學院上校教官。