

科技武器

WEAPON

● 作者/Thomas Withington ● 譯者/徐祁立 ● 審者/馬浩翔

無人機與微型都卜勒雷達

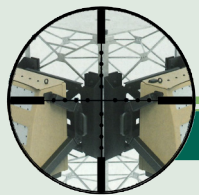
Spying the Spy in the Sky

取材/2021年11-12月德國軍事科技雙月刊(*Military Technology*, November-December/2021)

無論在戰場上或戰場外，無人飛行載具的威脅日益嚴重。在偵測及追蹤這些飛行器時，雷達的角色更形吃重。

2021年9月，羅賓雷達公司的反無人機雷達完成早期預警項目測試，展示其偵測和追蹤小型無人機的能力。(Source: Thomas Withington)





2020年9月27日，亞美尼亞與亞塞拜然因納哥諾卡拉巴克(Nagorno-Karebakh)邊界問題發生戰爭。位在高加索山脈的納哥諾卡拉巴克主要組成人口為亞美尼亞人，但國際承認其屬於亞塞拜然。1988年，住在此區域的亞美尼亞人要求併入亞美尼亞，戰事在當年爆發。1994年戰事稍歇，此處與其他七個鄰近地區都由亞美尼亞控制。但是情勢並未因而安定。1994到2020年間，亞美尼亞與亞塞拜然間仍不斷發生衝突。2021年9月，甚至演變成全面戰爭。俄羅斯政府居中調停，雙邊停火，並且在11月10日結束戰事。非政府組織「國際危機組織」(International Crisis Group)指出亞塞拜然再次控制七個鄰近地區，以及納哥諾卡拉巴克的大部分地區。

值得注意的是在這場衝突中，無人機扮演了重要角色。亞塞拜然部署的無人機發揮極大效益。相關資料顯示，亞塞拜然部隊採用以色列埃比系統公司的荷姆斯900(HERMES-900)以及土耳其拜克塔(Baykar)公司

的TB2拜拉克塔(Byraktav)中高度高續航力(MALE)無人機。這些飛機搭配使用以色列航空防衛公司(Aeronautics Defense)的軌道三式迷你無人機。亞塞拜然部隊也運用裝配武器的無人機，例如以色列航空防衛公司的軌道1K式迷你無人機，其上載有兩公斤重的高爆彈頭。這些飛機用來攻擊裝甲車輛、砲兵以及指管目標。在此同時，以色列航太工業公司的HAROP自殺式無人機也用在防空壓制任務上，用來攻擊亞美尼亞地對空飛彈陣地及雷達。其他由亞塞拜然部隊所應用的滯空彈藥(Loitering Munition)，則包含以色列埃比特系統公司的天襲者武裝無人機。

問題所在

亞塞拜然戰事告捷確實展現無人機在戰場上具備之效益，證明其價值不只在情監偵，同時具備動能攻擊能力。無人機在未來戰爭中的運用不太可能走回頭路。全球無人機市場正在成長中，2021年9月，加拿大及印度合資的領先研究公司(Precendence Research)指出，

到2030年，全球無人機的需求可能竄升到360億美元，2020年的市場需求則為143億美元。依照該公司預測，從2021年到2030年，無人機市場每年的平均成長幅度是14%。如果這些預測為真，2030年世界上的商用與軍用無人機會比現在增加許多。

全球無人機機隊呈現規模成長，促成無人機在戰場上的能見度大增，未來也會對商用市場造成衝擊。有愈來愈多未經授權的商用無人機飛在空中，數月前筆者公寓前就時常受到一架無人機「襲擾」。當地警方表示他們無法偵測或攔截這架無人機。無人機倘若落入不良分子手中，可能會造成騷動甚至更壞狀況。2019年1月8日，因為發現有無人機出現，倫敦希斯洛機場的所有航班延誤一個小時。2018年12月19日到21日間，倫敦蓋維克機場的航班也是因為類似狀況而遭受嚴重干擾。根據英國媒體提供的數據顯示，如此干擾造成機場及航空公司超過6,900萬美金損失。未經授權的無人機飛行可能不只造成經濟影響，2021年8月8

日到9日晚間，有一架無人機在法國南部尼姆(Nimes)，將包括武器在內的違禁品運給獄中囚犯。

傳統光電或是紅外線感測器可偵測到無人機。然而，天氣狀況會影響光電設施精確標定以及追蹤無人機的能力。儘管透過地對空搜索雷達偵測並且追蹤無人機知易行難，雷達不失為另一種有用科技。用雷達偵測並且追蹤大型中高度續航力無人機相對簡單。這些飛機基本上體型大，相當於一架小飛機，飛行路線模式與傳統飛機相同。然而當無人機體積變小時事情就變得複雜許多。

物理特性

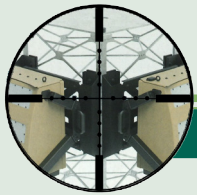
偵測迷你或微型無人機特別困難。迷你無人機通常重約1到25公斤，微型無人機可能甚至只有250公克重。這兩種飛行器的體積比傳統中、大型無人機來得小，也就是說其雷達橫截面(Radar Cross Section, RCS)相對更小。雷達橫截面小的微型或迷你無人機，讓雷達無法精確偵測。雷達偵測不到小型無人機的原因很多，甚至可能需

要另闢專文討論，還要進行相關檢測。簡言之，小型無人機的射頻，可能小到連雷達都無法辨識。

雷達發射的無線電波以光速前進，碰觸到物體如飛機再反射回雷達。將雷達發射射頻脈衝至物體，再把雷達接收回波的時間相加除以二，雷達可算出目標距離。例如，若脈衝的來回時間耗費0.08毫秒，電波前進26公里，亦即目標距離13公里。問題是雷達發射的脈衝強度，從發射機到目標，再反彈回發射機的傳送過程中會減弱。雷達必須仔細「聆聽」以辨識目標反彈回來的脈衝。事實上環境因素也會使情況變得更複雜。自然界的電磁輻射，以及其他無線電發射器所造成的干擾，都可能被雷達接收到。目標如小型無人機，可能只會反彈些微的脈衝，訊號可能弱到雷達無法在吵雜的電磁環境中被「聽見」。所以小型無人機難以偵測。同樣地，雷達可能把小型無人機誤認為其他時常忽略的目標。例如雷達處理器偵測到小型無人機的微弱信號，但是內建軟體卻誤判其為一隻鳥。

所以，雷達也許會忽略這些目標，而不讓操作者覺得困擾。

其他因素會讓狀況更為複雜。許多小型無人機是用重量輕的材料製造。例如中國昊翔公司的颱風H型專業玩家無人機，主要製材為碳纖維。碳纖維能有效減輕飛機的重量，提升性能。然而相較傳統飛機蒙皮材料，雷達難以偵測碳纖維這種材料。所以碳纖維也會用在戰機上，例如F-22猛禽式戰機。這種飛機是作戰初期就會使用的武器，設計目的是讓其雷達橫截面能愈小愈好。最後，小型無人機的飛行路線可能不像傳統飛機或直升機。小型無人機的高機動性，會讓大型飛機黯然失色。小型無人機可以在半空中、特定範圍內精準停留及啟動，可以在一瞬間從懸浮到高速飛行。這種飛行模式可以騙過雷達。雷達橫截面小、飛行軌跡異常的小型目標，可能被雷達辨識為飛鳥而忽略。雷達的處理器會忽略此目標而不會顯示在螢幕上。總括而言，今日許多地對空監視雷達以及商用航管雷達，可能會因為前述特定或多個因素，無法偵測並且追



蹤小型無人機。

解決之道

部分雷達受限於無人機所帶來令人傷透腦筋的挑戰，確實讓雷達工程師深思，必須找出方法來精準偵測並追蹤小型無人機，而解方是都卜勒微處理器(Micro-Doppler Processing)。這是從這些

無人機設計的共同點著手：大多數無人機是螺旋槳飛機。小型固定翼無人機螺旋槳，不是裝在前機身就是後機身。傳統小型旋翼無人機有單一主旋翼，或者像直升機一樣有尾旋翼。而四軸、六軸或八軸的設計，則會有四個、六個或八個旋翼。

所有雷達都是應用都卜勒效應運作。也就是運用雷達射頻脈衝，以及擊中移動中目標的回波頻



達利思公司的門將雷達，是由旗下艾維倫公司所開發，已經部署在多個地點，協助預防無人機進入機場起降空域。

(Source: Thales)

率差異予以辨識。當目標朝雷達移動，回波脈衝的頻率就會增加，相反地當目標遠離雷達，回波脈衝的頻率就會降低。簡單的舉例如警車在經過位置固定的觀察者時，警笛聲量會有大小變化。對於在位置固定的觀察者來說，都卜勒效應是非常重要的雷達效應，顯示目標的動向以及方位。

當雷達在追蹤傳統飛行器時，運用都卜勒效應沒有問題。然而誠如上述，就雷達來看，小型無人機運作模式不能與傳統飛行器等同視之。雷達橫截面小及其超出常理的飛行模式，會讓雷達忽略該目標。都卜勒微波處理會運用小型無人機的螺旋槳葉片都卜勒效應。雷達發出的脈衝撞擊到無人機的螺旋槳葉後反彈，透過天線接收，雷達會觀測到這些頻率上的微小變化。雷達的都卜勒微處理器會辨認這些重要的都卜勒效應變化。

稍加瀏覽無人機玩家網站，可從上面得知一般四軸飛行器的旋翼轉速，大約在每分鐘1萬350到4萬1,400轉，可以解釋為每秒轉速為172到690轉。這種頻率讓世界上振翅次數最快的鳥類見之都相形失色。蜂鳥平均每秒拍動翅膀75次，遠不如四軸旋翼機，而且鳥在飛行時並非不斷拍動翅膀，而無人機的螺旋槳卻會維持旋轉，才能提供定翼機動力及旋翼機升力，如果雷達持續接收脈衝改變，處理器就可以把這個目標識別為小型無人機，而運用如此資訊，就可以開始追蹤目標。

產品

就地對空搜索雷達而言，都卜勒微處理器是標配，用來追蹤小型無人機。

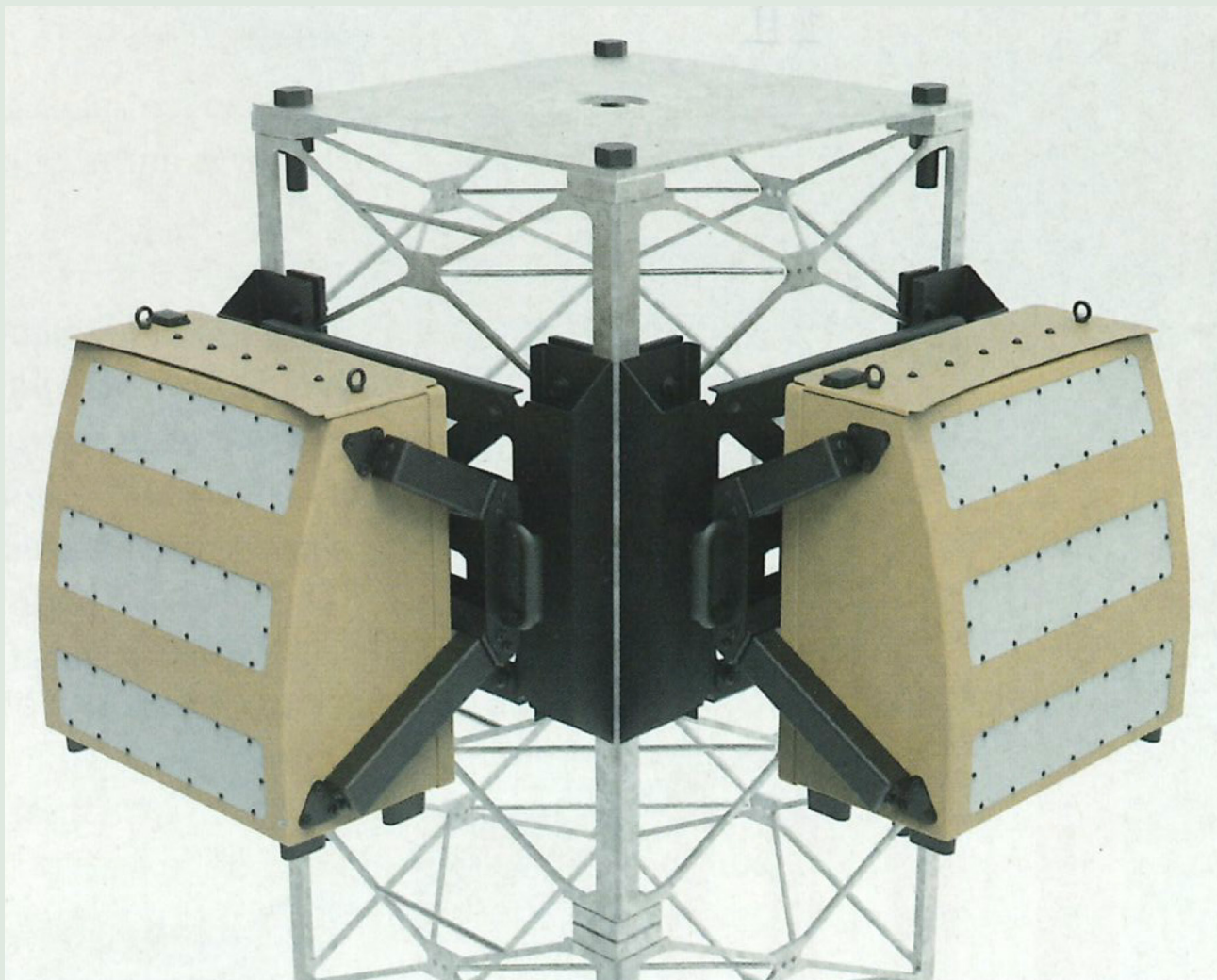
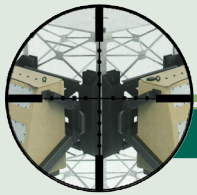
目前有許多雷達運用類似技術因應小型無人

機的威脅，但幾款新產品讓市場更加活躍。布萊特公司在2021年的倫敦DSEI 2020展中展示新型A800雷達。該公司人員稱，這款Ku段雷達可以在三公里外偵測到中國大疆公司生產的幽靈式無人機。簡報中指出，A800雷達所設計的最遠偵測距離可達20公里，在此距離內，雷達可以偵測、辨識並且追蹤目標，還可以偵測到以每小時0.37公里緩速前進的目標。其另一項優勢是也能偵測並追蹤地面及海上目標，可以在五公里距離內偵測到行進中的人員並加以追蹤。

荷蘭的羅賓雷達公司(Robin Radar)開發新型無人機偵測雷達，該公司把雷達帶到在愛沙尼亞舉辦的早期預警電戰展，並向在場來賓展示雷達偵測及追蹤無人機的能力。羅賓公司是做鳥擊偵測雷達起家的，而鳥擊在荷蘭是很嚴重的航安威脅，羅賓公司利用防治鳥擊雷達的軟體，開發自家反無人機系統。

羅賓公司開發出兩款反無人機雷達：IRIS及ELVIRA。兩型雷達都採X波、最大偵測範圍約五公里。IRIS的發射功率是4瓦，ELVIRA則是12瓦；IRIS的發射仰角60度，ELVIRA則是10度。據稱其雷達可以偵測並且辨識如黑色大黃蜂無人機(BLACK HORNET UAV)大小的目標。這款無人機只有手掌大小，重量更僅有18克。該雷達已通過測試，可以偵測並追蹤600個目標。接著就是整合人工智慧，運用雷達在機動載具上。

達利思(Thales)公司也使用都卜勒微處理器偵測並追蹤無人機。2017年，該公司併購位在劍橋的艾維倫(Aveillant)公司，後者研發的門將式(Gatekeeper)L段雷達，能協助維護跑道起降空域



布萊特公司的A800型雷達在倫敦的DSEI展中首度亮相。如同其他設計用來偵測與追蹤無人機的雷達，這套系統也採用都卜勒微處理器。(Source: Blighter)

安全，避免無人機干擾。門將式雷達偵測範圍約七公里，能偵測最高飛在900公尺空中的無人機。雷達可以裝置在跑道任一端，監控無人機是否進入跑道滑行區。門將式雷達目前已安裝在巴黎戴高樂國際機場，使機場上空免受無人機干擾。

高加索地區近期發生的衝突，預示無人機未來會如何應用在戰場上。同樣在商用航空領域中，

未來恐怕也會面臨更多無人機遭濫用的狀況，無論是有意或無意為之，偵測無人機是阻止這些飛機成為威脅的第一步，而雷達在此任務中極具運用價值。

版權聲明

Reprint from *Military Technology* with permission.