

高效能滯空彈藥發展概況介紹

作者/溫盛宇少校



陸軍官校正 80 期，步兵正規班 361 期畢業；曾任排長、副連長、中隊長、步兵訓練指揮部兵器組教官；現任陸軍官校化學系講師

提要

- 一、滯空彈藥(Loitering Munition)，又被稱為遊蕩彈藥、巡飛彈、巡弋彈藥或徘徊彈藥，也有人稱它為「自殺無人機」(suicide drone)或「神風敢死無人機」(kamikaze drone)，因體積小、價格合宜與多功能的特性，經實戰發現在戰場上大放異彩，現已經成為軍武大國投入大量資源，持續開發的重要武器。
- 二、無人機從最初偵察需求，逐漸將任務需要轉換成從事偵察與火力攻擊同時執行；而滯空彈藥、巡弋飛彈與攻擊型無人機，三者性質上很接近，但是滯空彈藥所使用的技術較為簡單，不能重複回收再使用，使它的價格相對較低，部署要求條件較低，操作使用速度快，戰鬥運用深具靈活性，發現預期目標即可發動攻擊；因為航程近、速度慢，飛行高度低、掛彈區位置較小，很難被偵測、預警和攔截到，其戰鬥價值與表現深獲地面部隊指揮官肯定。
- 三、本篇研究以「滯空彈藥」為名稱，探討在重要戰爭中的使用情形，了解滯空彈藥對戰鬥帶來的效能與影響，使部隊官兵對滯空彈藥發展情形有基本認知與識別，以強化軍事方面本職學能。

關鍵詞: Loitering Munitions、滯空彈藥、自殺式無人機、彈簧刀

壹、前言

滯空彈藥(Loitering Munition)，又被稱為遊蕩彈藥、巡飛彈、巡弋彈藥與徘徊彈藥等名稱，也有人稱它為「自殺無人機」(suicide drone)或「神風敢死無人機」(kamikaze drone)，因導引系統簡單，相對成本較為低廉，是目前無人飛行載具發展重要趨勢之一，若配合人工智慧(AI)技術，將成為一種高效能作戰武器。在無人駕駛航空的早期歷史中，無人機和導彈之間的區別並不是很明確。第一次世界大戰時 Kettering Bug(空中魚雷)¹ 被認為是最早的無人機之一，其設計功能是透過撞擊目標以引爆炸藥，更像是一枚火箭，而不是我們現今聽到「無人機」一詞，會聯想到的偵察和攻擊相關功能。滯空彈藥是一種無人駕駛飛行器，掛載爆炸性彈頭在視距外之目標區滯空巡弋與交戰。為與巡弋飛彈、精準導引彈藥和無人作戰飛行器明確區分，英國國防部定義滯空彈藥：滯空彈藥是低成本的精準導引彈藥，彈藥在發射之後，可以在空中一段時間的滯空偵巡，發現到目標後，可快速攻擊陸地或海上的視距外目標。滯空彈藥由操作員控制，操作員可以看到目標及其周圍區域的即時圖像，從而能夠確認時間、飛行姿態和方向對靜態或移動目標進行攻擊，包括目標識別和確認過程。²在 1990 年代初期，滯空彈藥主要用於對付雷達系統或移動導彈系統。現今許多滯空彈藥大都是提供步兵部隊使用，因為它們為地面部隊提供比迫擊砲等更精確的精度。與同等大小和重量的其他類型無人機不同，滯空彈藥並不能在任務結束後回收。越來越多的國家正在購買滯空彈藥，因為它與火箭或迫擊砲等傳統武器相比，滯空彈藥提供了高精度瞄準。³本文概述高效能滯空彈藥的發展及分類，使官兵了解滯空彈藥對現今作戰之重要性與認識。

貳、滯空彈藥發展

從 20 世紀 80 年代末期到 90 年代初期，滯空彈藥開始發展成一個獨立的武器，並已經發展出了一個龐大的系統，其中以色列的滯空彈藥技術在世界上可以說處於先列。按外型及配置區分，分為六大類；動力通常由電動發動機或汽油發動機提供；按發射方式區分手動發射、軌道發射和筒式發射。隨著感測器技術的改進和無人機變小，滯空彈藥在 2010 年才真正可以投入實戰，改進的鏡頭技術使滯空彈藥可以觀測並瞄準戰場上可觀測到的任何目標，滯空彈藥也變得越來越小，其重量與大小可以由單兵攜行和發射。

¹ Kettering Bug(空中魚雷):在第一次世界大戰期間美國研製，它能夠以時速每小時 80 公里，攻擊距離達 121 公里的目標，發射後以無線電波操控，直到 1920 年代中止計畫。

² R. Hughes, "Loitering with intent". Jane's international defence review, (檢索時間:民國 112 年 1 月 30 日)

³ Dan Gettinger and Arthur Holland Michel, "Loitering Munitions in Focus", The Center for the Study of the Drone at Bard, 2017 Center for the Study of the Drone. All Rights Reserved

一、滯空彈藥發展

1990 年代由以色列航空航天工業公司開發了 Harpy(IAI Harpy)，(如圖一)被公認為第一代的滯空彈藥，主要於攻擊敵方雷達系統。⁴與我國自製的劍翔反輻射無人機功能類似，這種將無人機和反雷達導彈結合在一起，在發射出去後就進入搜索模式，靜待敵方雷達啟動，如果敵方雷達啟動，就可以用其破片彈頭來摧毀雷達。與反輻射飛彈不同，滯空彈藥不像需要提前精確瞄準的導彈，配備彈頭的無人機系統成本相對較低，可用於攻擊戰車、軍用車輛和軍事人員等目標。最初發明的 IAI Harpy 長度超過 2 公尺，重 135 公斤，而 2010 年後開發的滯空彈藥重量約在 2 到 30 公斤之間，其具有強大的航電運算、定位系統、數位影像傳輸與辨識系統，滯空彈藥就類似微型的空對地導彈一樣，在撞擊目標時立即引爆，因此，滯空彈藥是一次性使用且不可回收重複使用的。(如圖二)這種發展正在迅速改變地面戰場，讓資金有限的國家或伊斯蘭國等非國家組織也有能力建構空中力量。⁵在亞美尼亞和亞塞拜然之間的兩亞戰爭(Nagorny-karabakh War)中，亞塞拜然多次使用自殺式無人機並取得了多次的成功，這場衝突被認為是第一次滯空武器系統戰爭。⁶在之前的葉門衝突中也可以觀察到這一趨勢，反政府武裝組織使用遠程無人機系統結合陸地巡弋飛彈瞄準沙烏地阿拉伯的煉油廠。⁷30 年前從以色列、美國和英國開始發展滯空彈藥，現在包括中國、土耳其、韓國、波蘭和伊朗，以及其他幾個不是處於軍事科技尖端的國家，⁸此外，許多其他國家使用外國製造的滯空彈藥。隨著該技術變得越來越普遍，許多非國家組織也陸續加入發展行列。儘管 30 多年前就已使用，但許多人仍認為這類武器是新興技術。



圖一 Israeli Aerospace Industries Harpy(IAI Harpy)無人機

資料來源: [https://www.iai.co.il/p/harpy HARPY](https://www.iai.co.il/p/harpy_HARPY) (檢索時間 112 年 3 月 8 日)

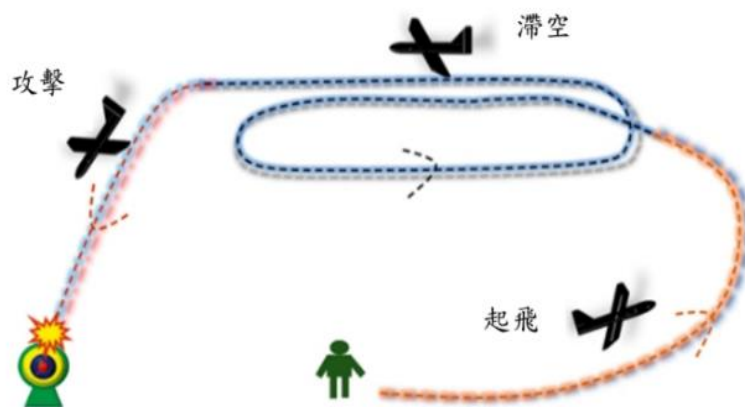
⁴ Den Heider, "Performance analysis and design of loitering munitions: A comprehensive technical survey of recent developments", Defence Technology, Volume 18, Issue 3, March 2022, Pages 325-343

⁵ Detsch J. "The U.S. Army goes to school on nagorno-karabakh conflict". Foreign police. March 30, 2021.

⁶ Egozie A. "The first loitering weapon systems war". Israel Homeland Security; Oct 14, 2020. <https://i-hls.com/>.

⁷ Gunaratne DR, Himmiche A, Thompson H, Tougas M, Paes W. "Final report of the Panel of Experts on Yemen". United Nations Security Council; April 2020. Report No.: S/2020/326

⁸ 同註 2，頁 3-4。



圖二 滯空彈藥飛行過程示意圖

資料來源: Zhidong Zhang ; Jie Li ; Yachao Yang ; Chengwei Yang ; Ruizhi Mao, "Research on Speed Scheme For Precise Attack of Miniature Loitering Munition", 18 September, 2020

二、滯空彈藥分類

(一)外型及配置

目前市場上有許多具有不同設計的滯空彈藥，可根據其氣動布局⁹、外型及配置分為六大類，常規固定翼(Conventional fixed-wing)、前翼(又稱鴨翼)(Canard)如 Orbiter 1k 與 Harop¹⁰(如圖三)、三角翼(Delta wing)如劍翔反輻射飛彈、十字翼(Cruciform)如 Hero70¹¹(如圖四)與 Hero120、雙翼(Tandem)如 Hero250、Hero400、Hero900、Switchblade 與 WS-43¹²(如圖五)、旋翼機(Rotorcraft)如 KARGU，也可能會開發出其他配置，或單一台同時具有多個類別的設計。例如，人們可以想到一種帶有專用旋翼的固定翼設計，用於懸停和垂直起飛能力。對於城市作戰，旋翼飛行器因其垂直飛行能力，不需要特殊的發射機構，而較適合使用，通常可以攜帶手榴彈大小的彈頭；十字形配置在精確飛行路徑控制至關重要的情況下是有益的；雙翼配置結合了筒式發射和適合遠程飛行的相對高展弦比機翼的優點；三角翼設計則提供較大的內部容量和終端攻擊速度快。¹³

⁹ 氣動布局:飛行器的飛行特徵及性能，將飛機外部整體型態布局與各翼面之主翼、尾翼位置的設計。

¹⁰ Harop:以色列製、Harpy 的改良型、長 2.5 公尺、彈頭重 23 公斤、續航力 6 小時、航程 1000 公里、2009 年發表。

¹¹ Hero70: 以色列製、重 7 公斤、彈頭重 1.2 公斤、續航力 45 分鐘、航程 40 公里、2015 年發表。

¹² WS-43:中國大陸製、長 3.4 公尺、重 220 公斤、彈頭重 20 公斤、續航力 0.5 小時、航程 60 公里、2014 年發表。

¹³ 同註 3，頁 1-2。



圖三 Harop 無人機
資料來源: 由註 2 文章中擷取



圖四 Hero70 滯空彈藥
資料來源: 由註 2 文章中擷取



圖五 WS-43 滯空彈藥

資料來源: 由註 2 文章中擷取

(二)動力

滯空彈藥的動力通常由電動發動機或汽油發動機提供。目前重量在 6 公斤以下，所有設計都是以電池為動力採用電力推進系統，因為使用電池電力推進系統在聲學特徵（噪音）方面具有優勢。當超過 40 公斤的最大起飛重量，大多設計都改由活塞發動機提供動力，畢竟汽油的能量密度遠大於最先進的鋰離子電池。即使電動發動機的效率高於汽油發動機，但這一方面並不能彌補能量密度的差異。這就是為什麼對於追求高續航力的飛機來說，使用電池供電是行不通的。但這些限制將隨著電池的能量密度增加而逐漸改變。¹⁴

(三)發射方式

滯空彈藥發射方式可區分為手動發射、軌道發射和筒式發射。(如圖六、七、八)較小的無人機重量只有幾公斤，可以用手投擲直接發射；而更常見的方式是使用發射軌道。小型滯空彈藥的發射導軌可以手動攜帶和設置。如果滯空彈藥體積較大，可以建造移動發射軌道，也可以將平台放在載具上。使用發射軌道的缺點是它需要的體積很大。如果滯空彈藥可以折疊，它也可以存放在發射筒中，由於這些發射筒的體積相對較小，多個彈藥筒可以放置在地面車輛、海上平台甚至飛機或直升機上。(如圖九)儲存在發射筒中的小型滯空彈藥也可以由士兵作為背包攜

¹⁴ 同註 3，頁 330。

帶，利用氣動系統發射。¹⁵從操作的角度來看，單一車輛運輸和可以發射數枚滯空彈藥的能力顯然非常有利，然而，確實會對滯空彈藥的設計產生重大影響，因為它需要安裝在彈藥筒內。



圖六 軌道發射的 Fire Shadow 火影滯空彈藥

資料來源: <https://www.thinkdefence.co.uk/2022/11/fire-shadow-loitering-munition/>
(檢索時間 112 年 3 月 8 日)



圖七 Switchblade 300，採用筒式發射方式

資料來源: <https://www.avinc.com/tms/switchblade> (檢索時間 112 年 3 月 8 日)

¹⁵ Atherton K, "Lightweight loitering munition promises to be as accurate as the human piloting it", C4ISRNET, June 8, 2018.



圖八 Switchblade 300，採用 6 聯裝發射箱實施發射作業
資料來源: <https://www.avinc.com/tms/switchblade>（檢索時間 112 年 3 月 8 日）



圖九 中華民國-劍翔反輻射飛彈的機動載台

資料來源: <https://opinion.udn.com/opinion/story/120873/5291844>（檢索時間 112 年 3 月 8 日）

參、滯空彈藥潛在影響

滯空彈藥將持續擴大戰場的複雜性，它為地面部隊提供戰術運用的靈活性，其精準的導引火力，可減少部份部隊對傳統火炮的過度依賴，但是相對的，也增加了防空作戰時敵機識別與射擊敵軍滯空彈藥的困難度，其對作戰影響概述如下。

一、優勢和效能

滯空彈藥與傳統迫擊砲、火箭和小型導彈等武器相比，使用滯空彈藥可以提高部隊戰鬥人員和戰鬥支援人員的監視與攻擊能力。這些系統的滯空能力允許操作人員在攻擊前長時間監視和跟踪潛在目標，攻擊時若與傳統武器相比，滯空彈藥將可以大幅度提高命中目標之精確度。例如，AeroVironment Switchblade 300(如圖十)可產生前向爆炸，使爆炸比手榴彈更具針對性，手榴彈可產生 360 度爆炸。¹⁶滯空彈藥是可操控的，而許多等效彈藥則不是。滯空彈藥比某些提供類似精確度的導引彈藥在價格上更加便宜。例如，Switchblade 300 估計每發成本約為 70,000 美元，大約是 AGM-114 地獄火導彈成本的三分之二，AGM-114 地獄火導彈是一種用於多種攻擊無人機和武裝直升機的導彈。目前各型滯空彈藥具有「取消」功能，允許操作員在飛行中取消攻擊並無害的放棄彈藥，而傳統的火箭炮、迫擊砲和導彈沒有這項特性。¹⁷也因為現今的網路和人工智慧 (AI) 技術發展，朝著具有集群和自主能力、更小、更便宜的方向發展。



圖十 AeroVironment Switchblade300

資料來源: AeroVironment 官方網站 (檢索時間 112 年 2 月 8 日)

二、未來面對挑戰和問題

部分軍工製造商聲稱他們的滯空彈藥可以自主探測目標。無需人類控制就可以執行致命行動的系統引起了輿論爭議，對該武器違反武裝衝突法和國際人道主義法有關的擔憂。這場關於使用致命自主武器系統的國際辯論正在進行中，但仍未得到解決。低成本自主攻擊系統 (LOCAAS) 是美國國防高等研究計畫署(DARPA)

¹⁶ AeroVironment 航空環境公司:總部位於加州西米谷(SimiVally)，憑藉一系列小型、迷你迷和微型無人機在市場佔有主導地位，出產黃蜂(Wasp)、美洲獅(Puma)、彈簧刀(Switchblade)、黑翼(Blackwing)等無人機系統。

¹⁷ 同註 2，頁 4。

和美國空軍在 1990 年代的一項聯合計劃，旨在開發一種小型自主滯空彈藥，用於攻擊伊拉克飛毛腿飛彈之移動性導彈發射器。 LOCAAS 計畫在 2000 年代初期即預訂中止，因為美國空軍認為該計畫之風險太大，缺乏對武器的人工監督。¹⁸

未來的計劃可能會遇到類似的問題，自主識別目標的滯空彈藥是依靠 AI 軟體而不是人類操作員來做出攻擊決策。在目標識別和追蹤軟體領域仍在發展中的情況下，戰場上該軟體的錯誤或缺陷可能導致無法擊中預定目標。如果對使用先進之蜂群滯空彈藥的能力被證明是可能的，那麼反無人機系統可能需要革新。目前的反無人機系統可能無法應對日益複雜的滯空彈藥。

隨著軍工工藝和科技的成熟，有各種不同尺寸、酬載和續航力的滯空彈藥，將繼續增加未來戰場的複雜性。也希望加強彈藥的殺傷力，以便在近距離和縱深作戰中更有效地使用。¹⁹另一方面如美國海軍陸戰隊，其重點發展滯空彈藥不是為了大規模火力，而是為了遠程偵察和小部隊使用。²⁰

肆、滯空彈藥實戰表現

滯空彈藥從最初的攻擊高價值目標，到兩亞戰爭中，亞塞拜然利用滯空彈藥爭取制空權，展現出戰爭新型態衝突的特徵，在不同戰爭場景下，使用更快速、更致命的精準彈藥重創對方。俄烏戰爭中可以看到兩方大量使用滯空彈藥，未來誰能大量使用且有更高的技術，將更有機會掌握戰場主動與控制權。

一、阿富汗戰場

2000 年，美國中情局(CIA)和美國空軍為了偵查與直接擊斃賓拉登，在阿富汗部署一架 RQ-1 掠奪者無人機，於 2001 年 10 月時，空軍無人機操作員在數千公里外的管制站，操控掠奪者無人機向阿富汗坎達哈(Kandahar)地區發射一枚地獄火飛彈，創造無人機發射飛彈攻擊的歷史。²¹阿富汗戰區中具備無須爭奪的空域和適合的天氣條件，促使無人飛機使用數量的增加。許多國家因為阿富汗戰場部署經驗，相繼投入各型無人機研究，包括滯空彈藥。美國在 2012 部署了 AeroVironment 的 Switchblade 滯空彈藥在阿富汗，主要用對付高價值目標，如叛亂分子的領導者、迫擊砲陣地與車輛。²²

¹⁸ 同註 2，頁 4。

¹⁹ Paul Iddon, "Turkey, Israel and Iran Have Built Some Very Lethal Loitering Munitions," *Forbes* (website), 19 July 2020, accessed 18 November 2021, <https://www.forbes.com/sites/pauliddon/2020/07/19/turkey-israel-and-iran-have-built-some-very-lethal-loitering-munitions/>

²⁰ David Larter, "The US Marine Corps Wants Grunts Packing Deadly Swarming Drones", *Defense News* (website), 9 December 2020, accessed 18 November 2021, <https://www.defensenews.com/naval/2020/12/09/the-us-marine-corps-wants-grunts-packing-deadly-swarming-drones/>.

²¹ Arthur Holland Michel, "How Rogue Techies Armed the Predator ,Almost Stopped 9/11, and Accidentally Invented Remote War", *Wired*, December 17, 2015

²² Charlie Gao, "Why Loitering Munitions Are the Newest and Deadliest Threat", <https://nationalinterest.org/blog/buzz/why-loitering-munitions-are-the-newest-and-deadliest-threat-81241>

二、兩亞戰爭

2020 年兩亞戰爭是首次有軍隊大規模相互使用滯空彈藥，亞美尼亞的俄製防空系統(ADS)由蘇聯和俄羅斯的短程、中程和遠程系統組合而成，與瞄準、跟踪和預警雷達集成到單一的指揮和控制基礎設施中。(如表一)另一方面，在衝突的開始階段，亞塞拜然軍方使用了土耳其和以色列的無人武器平台和滯空彈藥，(如表二)主要用於壓制敵方防空任務，在 48 小時內，無人系統的攻擊成功破壞防空系統，隨後轉變為摧毀亞美尼亞的重型裝備、指揮控制系統以及火力支援系統，亞美尼亞防空系統毫無作用。亞塞拜然軍方通過在網路上發布數百個打擊影片來充分宣傳。除了宣傳價值外，這些影片對研究也很有用，許多影片描繪了亞塞拜然使用滯空彈藥襲擊亞美尼亞部署的防空系統，防空系統很重要，因為此類系統是保護部隊免受空中威脅的手段；然而，亞美尼亞防空系統似乎無法有效執行。²³在衝突接近尾聲時，隨著亞美尼亞的大部分裝備被摧毀或撤回，亞塞拜然的無人機和滯空彈藥也開始攻擊小部隊甚至單兵。從戰術上看，亞美尼亞的戰壕、土堤、掩體、裝甲車等部隊在戰場上，部隊集中避險的地區反而成為了危險大增的地方，而不是安全的地方。實際上，在大量滯空彈藥的作戰環境中，戰壕的防護效果也大打折扣。亞塞拜然軍隊非傳統強國，軍事的技術並不先進，然而，這種衝突表明，即使是非軍事大國者也可以獲得並有效地使用這種技術。

表一 亞美尼亞的防空系統

裝備代號	系統區分
9K33 - Osa (SA-8)	移動式低空短程防空系統(ADS)、蘇聯時期製
9K35 Strela-10 (SA-13)	
2K12 (SA-6)	中低級防空系統(ADS)、蘇聯時期製
S-300PT-1A, S-300PS(SA-10B)	遠程地對空飛彈系統(SAM)、俄羅斯時期製
Buk-M1-2 9K37M (SA-11)	中程導彈系統(AD)、俄羅斯時期製
Tor-M2KM (SA-15)	中低空短程地對空導彈、俄羅斯時期製
Pantsir-1S(鎧甲)	機動多通道近程防空導彈砲系統、俄羅斯時期製
2K11 Krug	中程、中高空 (SAM) 系統、俄羅斯時期製
S-125M1 (SA-3)	中程地對空飛彈(SAM)系統、蘇聯時期製
ZU-23 and ZSU-23-4 'Shilka'	自走式防空機砲、蘇聯時期製
Strela-2M	人攜式防空飛彈(MANPADS)、蘇聯時期製
9K38 Igla	
"9K333" VERBA (SA-25)	
Krasukha	陸基機動電子戰系統、俄羅斯時期製
Polye-21	
R-330P Piramida-I	

資料來源: Irakli Kochashvili, "ARMENIA-AZERBAIJAN WAR AND IMPLICATIONS FOR RUSSIA", Master's thesis, March 2022, p51.

²³ Shaan Shaikh and Wes Rumbaugh, "The Air and Missile War in Nagorno-Karabakh: Lessons for the Future of Strike and Defense", Dec 8, 2020.

表二 亞塞拜然的無人武器平台與滯空彈藥

裝備代號	重要諸元
Bayraktar TB2 ²⁴	• UAV (土耳其) • 配備輕型彈藥 (MAM-L) • 續航時間: 24 hours
Harop (known also as Harpy 2)	• 滯空彈藥(以色列) • 續航時間:可達 6 小時 • 任務範圍: 500 to 1,000 km
Orbiter 1K	• 滯空彈藥(以色列) • 續航時間:可達 2.5 小時 • 任務範圍:可達 100 km
Orbiter -3	• 滯空彈藥(以色列) • 續航時間: 7 小時 • 任務範圍: 150 km
SkyStriker	• 滯空彈藥(以色列) • 續航時間: 2 小時 • 任務範圍: 20 km
Hermes -900	• UAV (MALE) (以色列) • 續航時間:可達 36 小時 • 飛行高度: 30,000 ft (9.144km)
Hermes -450	• UAV (MALE) (以色列) • 續航時間: 17 小時 • 飛行高度: 18,000 ft (5.49km)
Heron	• UAV (MALE) (以色列) • 續航時間: 30 小時 • 飛行高度: 45,000 ft (13.7km)
Aerostar	• UAV (surveillance) (以色列) • 續航時間:可達 12 小時 • 任務範圍:可達 250 km
Antonov An-2	• 蘇聯時代的單引擎雙翼飛機改裝為無人機

資料來源: Irakli Kochashvili, "ARMENIA-AZERBAIJAN WAR AND IMPLICATIONS FOR RUSSIA", Master's thesis, March 2022, p50.

²⁴ Bayraktar TB2:土耳其拜克公司出產的戰術無人機，由畢業於麻省理工的軍事工程師賽爾柱克·拜拉克塔爾研發，作戰半徑可達 300 公里，巡航時間 27 小時，可掛載 4 枚飛彈。

三、俄烏戰爭

俄烏戰爭為無人機軍工大國提供了一次最寶貴實戰測評的機會，可以有效的檢驗以俄羅斯為主體軍工實力，這包含野戰防空、無人飛行載具反制能力、防空武力與爭取空優的實力，在這些條件帶動下，國際間各大媒體爭相報導滯空彈藥的發展與戰鬥效能。而美國提供烏克蘭軍隊可以裝在背包裡的 Switchblade 300 型；伊朗和土耳其將無人機當成爭取外交利益的重要手段，通過武器銷售和參與戰鬥來投射軍工發展力量。雖然中國大陸一直是世界上最大的武裝無人機出口國，但中共軍用無人機尚未在戰爭中出現。但中共商用無人機或製造投彈四軸飛行器、遙控彈藥和伊朗軍用無人機所使用的商用零件已經進入戰場。²⁵

同時可見到大型攻擊無人機正在被巡航距離更遠的攻擊無人機所取代，其中包括武裝四軸飛行器作為飛行地雷、滯空彈藥和小型偵察無人機。不斷變化的公眾認知，使武裝無人機在政治層面上更容易被接受。小型無人機廣泛的使用，間接帶來了複雜的載具操作上的挑戰。其中一個挑戰與空域管理有關，因為無人機在擁擠的空間中與各種飛行器相鄰、與之並駕齊驅。無論是集中部署（使防空系統飽和）還是分散部署（對更大區域進行持續監視），小型無人機都會增加空中交通流量。因此，為了支援地面部隊，海拔低於三公里的低層空域變得更加的重要。

在烏俄戰爭中獲得證實，無人機正在變得更隱蔽、更快速、更小巧、更致命、更易於操作，並容易落入更多參戰者的手中。相比之下，幾十年來專注於打擊叛亂分子和實力較弱的地區，導致歐盟國家軍隊並沒有優先考慮更新防空預警與反制裝備的部署，這在今天造成了一個重大問題。

有關無人機反制的問題，需要反映出無人機多樣性的數據的蒐集。通過現有的防空系統，只需付出較少的性能改良，就可以對抗大型無人機，相比之下，小型、低空、飛行速度快的無人機就很難被發現，更不用說攔截了。即使是性能較差的無人機也能摧毀武器裝備與後勤物資並殺死士兵，因這些低技術的廉價攻擊無人機無法被價格昂貴的空中和導彈防禦系統有效阻止，例如愛國者飛彈或其他高效防空飛彈。俄烏戰爭中顯示，無人機加入戰鬥看重的是數量，而不是單是性能，這意味著防禦系統的成本必須低於它應該阻止的廉價低技術無人機。所以軍隊需要爭取有效和低成本的反無人機防禦系統，以便更可行地阻止廉價的無人機。此外，降低的成本使得多無人機部署更加經濟實惠，甚至允許發展最基本的無人機蜂群式戰術。此外無人機干擾器的有效半徑相當小（頂多達到 10 公里）。因此，單靠干

²⁵ Dominika Kunertova, "The Ukraine Drone Effect on European Militaries", CSS Policy Perspectives, 10(15), December 2022, Pages 1-4

擾設備無法可靠地應對低成本的滯空彈藥與小型無人機的威脅。在 Dominika Kunertova 的 The Ukraine Drone Effect on European Militaries 文章中，²⁶指出歐洲軍隊尚未開發出針對現有無人機的有效防禦措施，歐洲政府和軍隊對無人機的思考應該從俄烏戰爭中吸取的教訓。觀察在高強度戰爭中使用無人機的創新方法，歐洲國家對無人機軍事政策規劃包括：

- (一)、小型和微型無人機的軍事潛力。
- (二)、低技術商用無人機的複合效應。
- (三)、到小隊級別都使用無人機。
- (四)、部署更遠射程的滯空彈藥。
- (五)、更具成本效益的無人機防禦。

其在烏俄戰爭表明，需要為實際戰鬥狀況開發可靠的無人機。雖然無人機尚未成為戰爭中的決定性力量，但它們的使用可以產生一定且重要的戰術效果。未來的歐洲無人機武器庫不僅應包括遠程持續空中偵察機和導彈平台，還應包括小型無人機偵察機。經驗告訴我們大型戰鬥無人機並沒有改變空中進攻行動，但是小型無人機已經在增強單兵的能力。俄烏戰爭對無人機的影響主要體現平衡昂貴的武器平台採購與購買更便宜的消耗性彈藥之間。

美國在俄烏戰爭除援助烏克蘭彈簧刀 300 型(Switchblade 300)，也考慮援助彈簧刀 600 型(Switchblade 600)，(如圖十一)它可以從地面以及空中或地面平台發射，配備了光電和紅外線攝影鏡頭。在標準配置中，可以擊中超過 40 公里遠距離的目標，一旦飛越目標區域，可以遊蕩 20 分鐘以上，在俯衝攻擊目標之前識別目標，也保持了較小系統的微波關閉能力及其重新接合能力，其巡航速度超過 112 公里/小時，衝刺速度 185 公里/小時，具有反裝甲的彈頭，重量約為彈簧刀 300 型的五倍，可以根據目標類型和周圍場景選擇最佳攻擊角度。



圖十一 AeroVironment Switchblade 600

資料來源: AeroVironment 官方網站 (檢索時間 112 年 2 月 8 日)

伍、結語

滯空彈藥的操作雖不像攻擊無人機一樣複雜，但是一樣需要高技術的專業操作，除了基本的操控，要能夠目標探測、敵我辨別、判讀目標、即時毀傷評估，如果發現目標誤判要在短時間內，立即中止攻擊任務，這些能力，是要經過完整且有系統的訓練，才能夠培養出來的，而這些需要與戰場上的情報、監視和偵察能力緊密結合，才能夠有效進行精準打擊。²⁷

兩亞戰爭中觀察到亞美尼亞所犯的錯誤，他們沒有將滯空彈藥與其他類型的空中威脅區分開來，從各項慘痛教訓中，了解到傳統的防空雷達系統對滯空彈藥是無效的。經由烏俄戰爭中證實，無人機正變得更隱密、快速、小巧、致命與易於操作，也訓練了更多的優秀操作人員，而我們的敵人，中共又是民用無人機的生產大國，陸軍地面部隊有必要開發或購買能相互對應的防禦系統，可以有效反制大量且廉價的無人飛行載具。²⁸

地空整體概念一直是美軍地面部隊成功的概念。因為無人機與滯空彈藥的技術與大量生產，讓制空權不再是傳統武力大國的專屬，相對較弱的一方，也能夠有局部的空權優勢。隨著技術與概念的成熟，滯空彈藥將繼續增加未來戰場的複雜性，而我們如何使用這項新興武器，需要謹慎考慮滯空彈藥使用的原則，可由建立統一的負責單位，整合到適當指揮級別的作戰架構中，從操作技術與作戰應用，與偵察型無人機的搭配等多層面去思考，來使用滯空彈藥，會比依攻擊目標不同而分配給各部隊使用，可能會來的更有效率，除了可獲得即時統一的情監偵相關情資，也能讓作戰指揮官，下達最有效的命令，避免攻擊重複目標浪費作戰資源。

滯空彈藥創新且有巨大潛力的武器，其獨特能力，加上大量的產出，有可能創造一個全新的戰鬥空間，戰爭革命的歷史證明，贏得戰爭的勝利是那些發現以最有效方法使用新科技的人，而不一定是那些最先發明這個科技、或擁有最好科技的人。²⁹要有效使用及防禦滯空彈藥帶來的戰力與威脅，除了有效的訓練，還要有適當的依據，如明確的「接戰守則」(Rules of Engagement)，讓作戰指揮官能應對多變的戰場環境。³⁰

²⁷ Ryan Orsini, "How to Keep Changing an Army Adjusting Modernization in the Age of Loitering Munitions", MILITARY REVIEW, May-June 2022, Pages 98-104

²⁸ 特南克斯〈美軍對抗小型無人機策略〉《全球防衛雜誌》〈台北〉，第 77 卷第二期，民國 111 年 10 月，頁 46-50。

²⁹ Robert Martinage, Toward a New Offset Strategy, Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2014, p16.

³⁰ 約翰·傑克森主編；余振國翻譯《無人機國度》(台北市：國防部政務辦公室翻印，民國 111 年 8 月)，頁 173-178。

參考文獻

1. R.Hughes, "Loitering with intent". Jane's international defence review.
2. Dan Gettinger and Arthur Holland Michel,"Loitering Munitions in Focus", The Center for the Study of the Drone at Bard, 2017 Center for the Study of the Drone. All Rights Reserved.
3. Den Helder, "Performance analysis and design of loitering munitions: A comprehensive technical survey of recent developments", Defence Technology, Volume 18, Issue 3, March 2022.
4. Detsch J. "The U.S. Army goes to school on nagorno-karabakh conflict". Foreign police. March 30, 2021.
5. Egozie A. "The first loitering weapon systems war". Israel Homeland Security; Oct 14, 2020. <https://i-hls.com/>.
6. Gunaratne DR, Himmiche A, Thompson H. Tougas M paes W. "Final report of the Panel of Experts on Yemen". United Nations Security Council; April 2020.
7. Atherton K, "Lightweight loitering munition promises to be as accurate as the human piloting it", C4ISRNET, June 8, 2018.
8. Paul Iddon, "Turkey, Israel and Iran Have Built Some Very Lethal Loitering Munitions," Forbes (website), 19 July 2020, accessed 18 November 2021, <https://www.forbes.com/sites/pauliddon/2020/07/19/turkey-israel-and-iran-have-built-some-verylethal-loitering-munitions/>
9. David Larter, "The US Marine Corps Wants Grunts Packing Deadly Swarming Drones", Defense News (website), 9 December 2020, accessed 18 November 2021, <https://www.defensenews.com/naval/2020/12/09/the-us-marine-corps-wantsgrunts-packing-deadly-swarming-drones/>.
10. Arthur Holland Michel, "How Rogue Techies Armed the Predator, Almost Stopped 9/11, and Accidentally Invented Remote War", Wired, December 17, 2015
11. Charlie Gao, "Why Loitering Munitions Are the Newest and Deadliest Threat", <https://nationalinterest.org/blog/buzz/why-loitering-munitions-are-the-newest-and-deadliest-threat-81241>
12. Shaan Shaikh and Wes Rumbaugh, "The Air and Missile War in Nagorno-Karabakh: Lessons for the Future of Strike and Defense", Dec 8, 2020.
13. Dominika Kunertova, "The Ukraine Drone Effect on European Militaries", CSS Policy Perspectives, 10(15), December 2022.