

第四章 精準彈藥與無人機

蘇紫雲*

壹、前言

精準導引彈藥（precision-guide munition）與無人機（unmanned aerial vehicle），在技術特性以及科技的關聯性都可說是近親，如同美國海軍在1936年開發給防砲使用的「實體靶機」（realistic target），便直接影響飛彈的發展。¹

直接來說兩者為類型不同的飛行器，但最重要的核心都是通訊、導引的航電科技，結合目標獲得、資料數據鏈、衛星定位等科技來定位敵我雙方位置，再經由任務電腦解算航線，下令舵翼升降轉向、發動機調整空速。例如眾所矚目的俄烏戰爭爆發以來，美援武器發揮極大作用協助烏克蘭抵禦俄國攻擊，甚至有機會進行反攻。其中以精準打擊武器最具關鍵性，包括12套海馬士火箭系統、1,400多枚刺針防空飛彈、6,500多枚標槍反戰車飛彈、121多架鳳凰幽靈（Phoenix Ghost）與700多架彈簧刀（Switchblade）無人機、126門155公厘M777榴砲與25.6萬枚砲彈、3套魚叉飛彈系統，一般裝備則包括20架Mi-17直升機、數百輛悍馬車、200輛M113裝甲運兵車、7,000多支輕兵器與5,000萬多顆子彈、雷射導引火箭以及通訊與情報等非致命性裝備。以標槍飛彈為主的戰術精準彈藥而言，至少摧毀1,700輛俄軍主戰車、4,000輛其他戰鬥載具，²剝奪俄軍裝甲部隊的戰力，這可看出戰術精準打擊武器在防衛作戰中的高度價值。

* 國防安全研究院國防戰略與資源研究所副研究員兼所長。

1 Remote Piloted Aerial Vehicles, “‘The Aerial Target and Aerial Torpedo’ in the USA,” *Remote Piloted Aerial Vehicles*, https://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_usa.html.

2 RadioFreeEurope, “Russia Has Lost 50,000 Soldier In Ukraine, U.K. Military Chief Says,” *RadioFreeEurope*, July 17, 2022, <https://www.rferl.org/a/31947401.html>.

人類戰爭史中，科技就以重要方式塑造戰爭型態，例如農業時代的冷兵器，青銅器、鐵器的材質與冶煉，都是科技的應用。而近幾個世紀以來，諸如火藥、內燃機的投入，得以新創動力鐵殼船和飛機等技術革新在戰場中發揮了決定性作用，都說明科技對戰爭的影響。

而非接觸戰的拋射型武器，提高射程與命中率更是人類使用武器以來便積極追求的目標，包括農獵或戰爭使用的弓箭，射手都在訓練中致力提高命中精度與命中率，當然也包括弩槍、拋石器，以及後續出現化學能推動的各類火器與火炮。但無論是機械能投射的弓箭，或化學能拋射的火器，早期都只能依照操作人員累積的經驗與有限的瞄準方式進行發射，命中率不足。此要至物理學、數學更發達之後才能發展出彈道學，以及更後期的光學照準等裝置，但命中率依舊有限。

主要原因在於傳統彈藥依照物理慣性前進，因此對於外界的風力、溫度、濕度等自然條件較為敏感，需依賴發射裝備的測量與射手操作經驗甚至直覺進行照準，若是面對動態目標則將更為困難，除非在環境控制下的測試才能依照設計的物理特性發揮精準度，而在戰場環境下武器精準命中的可靠性就受到嚴重影響。

而電子科技的發展帶來新的可能，二次大戰的真空管無線射頻科技，將雷達、通訊科技帶進戰場，也給德國、美國等軍事參謀與科學家帶來靈感，發射後具有彈道修正能力的武器陸續開發，以目視遙控的無動力滑翔炸彈作為先發，其後出現電視影像傳輸的導引炸彈也開始加入戰局，正式開啟「精準導引彈藥」的時代，但必須注意的是遙控行滑翔炸彈其實就是廣義無人機的一種。其後在越戰、中東戰爭、阿富汗戰爭、波灣戰爭各種精準導引彈藥越發成熟，種類也更為齊備。

更具意義的是戰術精準導引彈藥其實具備顛覆戰局的戰略意義，烏克蘭戰爭中著名的「標槍」（Javelin）飛彈，擊潰俄軍龐大的裝甲部隊就是一個例證，藉由較戰車砲更常的射程與射後不理的特性，重新改寫了步兵對抗裝甲部隊的可能性。而標槍飛彈的命名也是有趣的意涵，在羅馬時代的步兵方陣遭遇敵方戰象（battle elephant）衝擊就如同面對戰車一樣，因此苦思破解知道，而「紮馬戰役」（Battle of Zama），羅馬兵團依靠重標

槍（pilum）擊潰迦太基部隊的戰象，³ 因此現代的標槍飛彈命名也寓意此一效益。

精準彈藥在現代戰爭中的發展，以及隨著電子技術的進步，其可能改變戰爭規則的潛力。特別是在防衛作戰的型態下，防守方具有更大的地形優勢，得以讓精準彈藥發揮最大效益，並以較低的成本抵銷具有數量優勢的敵人，使防衛成功公算最大化。

貳、精準彈藥與無人機對台灣的價值

一、精準彈藥

依照美國防部的定義，精準彈藥是「一種旨在摧毀一個點狀目標並儘量減少附帶損害的導引武器，精確導引彈藥可以是空射和艦射飛彈、多管火箭和導引炸彈。這些彈藥通常使用全球定位系統（GPS）的無線電信號、雷射導引、使用陀螺儀的慣性導航系統（INS）—— 以來提高武器的精確度，其誤差一般小於 3 公尺（約 10 英尺）。」⁴

也就是說由狹義角度來說，精準彈藥應具備內建的導引裝置，不依賴慣性彈道且可調整飛行路徑以精準命中目標的能力作為其特徵。廣義而言，實際上由於科技的進步與跨領域應用，此一定義應可涵蓋更大範圍，也就是廣義來說可以包括砲彈（如銅斑蛇），以及無人機的使用都可包含在內。進一步說，筆者則認為可以採取性能特徵作為定義，例如具有移動能力且內建導引裝置的攻擊裝備也可，如此可將不具爆炸能力的動能擊殺武器也包含在內，例如俗稱「忍者炸彈」或「飛刀炸彈」（Ginsu bomb）的 RX-9 飛彈，本身沒有裝藥以限縮傷及無辜的可能，而是依靠彈體的鋼刀動能擊殺特定目標。

³ Harry C. Rol, "A Most Fateful Encounter: How Scipio Africanus Defeated Hannibal Barca at the Battle of Zama," *Student Research Submissions*, 110, https://scholar.umw.edu/student_research/110.

⁴ "Report to Congress on Precision-Guide Weapons," *USNI*, June 15, 2021, <https://news.usni.org/2021/06/15/report-to-congress-on-precision-guided-weapons>.

此外，提供命中率的另一產品線，不具導引能力，但發射載台具有精密計算能力可大幅提高命中率的「精準彈藥」（precision munition）也隨之出現，並能在短距離發揮低成本的打擊效果，例如現代主戰車的第一發命中率都超過 90% 便是代表性案例。但同樣受限彈藥本身僅能依賴慣性、缺乏中途彈道修正，因此較適合短射程以及持續火力壓制使用，以提供低成本方案。

最先實戰化加入戰場「距外」（stand-off）彈藥由德國於 1943 年推出，亨謝爾（Henschel）公司研發出 HS-239 遙控滑翔炸彈，藉由搖桿控制透過無線電遙控，⁵可由轟炸機投射，以目視方式遙控導引打擊 8 公里外的目標。此後，德國隨即在 1944 年推出 Hs-293B 型彈，採電視影像導引，射手可在發射載具接收影像並遙控，⁶是史上第一個電傳影像導引武器。盟軍方面則是由美國在 1943 年研發出 VB 系列導引炸彈，採無線電目視遙控，以 1,000 磅標準炸彈為主體，加上尾部遙控套件（radio command link controlled tail-kit）便成為導引武器。⁷

二、無人機的戰場運用

實際上，無人機在戰場上已不是新面孔。英軍在 1917 年發展第一架無人機，美國也在同一時段的 1916 年至 1917 年間開發無人機，稱為 Hewitt-Sperry「自動飛機」（automatic airplane）甚至被認為是巡弋飛彈的雛形，⁸再次說明無人機與精準導引彈藥的血緣關係，美國海軍也在 1920 年代開始使用遙控靶機。戰場實用化的開始，德國在二次大戰推出的 Hs-239 遙控滑翔炸彈，以及美軍的 VB 導引炸彈，兼具精準彈藥與無人機的共同特徵。此類 1940 年代問世的裝備，藉由無線電遙控，由轟炸機投射

⁵ “Hs 293 A-1 Missile,” *The National Air and Space Museum*, https://airandspace.si.edu/collection-objects/missile-air-surface-henschel-hs-293-1/nasm_A19840793000.

⁶ Michael Raska, “The Development of Precision Guided Munitions, Nanyang Technological University,” p. 10, https://www.michaelraska.de/research/PGM_History_M_Raska_2012.pdf.

⁷ Michael Raska, *ibid.*, p. 11.

⁸ Bipin Dimri, “The Hewitt-Sperry Automatic Airplane: The First Cruise Missile?” *Historic Mysteries*, <https://www.historicmysteries.com/hewitt-sperry-automatic-airplane/>.

再以電波遙控導引方式打擊遠程目標，遙控飛行炸彈外型如同小型飛機，可視為廣義的無人機參戰的鼻祖，以 1940 年代的技術水準可說相當不易。

此後，更具代表性意義的是德軍推出可自主飛行的 V-1 巡弋飛彈，等同是一架小型飛機。依照公開資料可推估其飛行控制系統雖然為機械化類比設計，以空速齒輪計算速度、加上計時器就可獲得航程，再以高度計、機械羅盤等構成飛航控制的全系統，再依照設定的航程自動飛行，抵達預定的目標區後，高度計啟動自行俯衝攻擊，依照統計德國成功的向倫敦施放超過 1 萬枚的 V-1 巡弋飛彈，等同是現代巡弋飛彈、自殺攻擊無人機的開山鼻祖。

如同德國的噴射機、夜視系統、新式柴電潛艦、V2 彈道飛彈等創新武器後續廣為各國使用，德國在飛彈的發展所引導出的無人飛行器技術，自然也成為各軍事強國的參考範例。

二戰後美軍發展出 BQM-34A「火蜂」(fire bee) 無人偵察機，並投入越南參與實戰，而國小人少的以色列，加入更多的創新概念發展無人機，在 1982 年的貝卡山谷戰役期間，以色列無人機結合新電子技術發展新戰術，包括電磁偵測、干擾等手段，成功壓制、癱瘓敵方防空雷達系統，再以正規戰機進行攻擊，大舉掌握制空權獲得勝利。

後續 1990 年代波灣戰爭後接連推出 MQ-4 全球鷹 (Global Hawk) 大型無人機，可以滯空 24 小時以上，此一無人飛行平台大獲成功可說是劃時代裝備，由於長時間的飛行能力，可以扮演大氣層內機動衛星的角色執行監控等任務。隨後推出的 MQ-9「死神」(Reaper) 無人機，除監測設備後也結合攻擊火力，可深入戰場支援地面部隊作戰，甚至執行精準斬首行動。

相對地，國力有限的國家對無人機也寄予厚望，代表性案例就是伊朗對沙烏地的攻擊行動，2019 年 9 月 4 日伊朗以無人機與部分巡弋飛彈，精準擊中沙烏地的煉油廠的儲油槽與煉油設施，造成全球油價的動盪，可以被視為低成本卻具高效益的攻擊手段。⁹

⁹ 蘇紫雲，〈無人機國防應用與產業機會—創新戰場規則的顛覆之戰〉，《MII 金屬情報網》，2021 年 7 月 29 日，<https://mii.mirdc.org.tw/Report?page=4&category=14>。

三、傳統彈藥與精準導引彈藥的命中效益比較

精準導引彈藥的種類甚多，因此擬以與海島防衛最相關的空對面、面對空、面對面（含對海）火力作為分類。

（一）空地火力（空對面）

1944 年 47 架 B-29 飛機從中國的基地突襲了八幡鋼鐵廠，只有一架飛機實際擊中了目標區，更具體說只有一枚炸彈，這枚 500 磅的通用炸彈（命中距離原訂目標焦炭廠 3,700 英尺外更具價值的發電站，可說歪打正著）。而 1944 年秋天，第八航空軍投下的所有炸彈中，只有 7% 命中瞄準點的 300 公尺範圍內；而俯衝轟炸機作為當年的「精確」武器，若非在低空轟炸，而是在 2,100 公尺處俯衝 40 度釋放炸彈，¹⁰ 其圓周誤差（CEP）也可能達到 300 公尺之大。依照統計 108 架 B-17 轟炸機，1,080 名機組人員，投下 648 枚炸彈，才能保證 96% 的機會將 2 枚炸彈命中 400×500 英尺面積的德國發電廠；相比之下，美國陸軍航空隊的密皆知原則可達到高命中精度，空投炸彈約可達 45%、空射火箭則可達 90%。¹¹

在波灣戰爭中，一架只有 1 名到 2 名機組人員的攻擊機，投下 2 枚雷射導引炸彈，就能達到同樣的效果，基本上幾近 100% 的機會命中目標，除非炸彈本身發生重大故障。¹²

（二）防空火力（面對空）

1940 年 9 月英倫空戰初期，面對德國空軍的轟炸，英國總計發射 26 萬發重型高砲彈，但只擊落 8 架敵機。每架約需耗費 3 萬發砲彈，¹³ 換算

¹⁰ 俯衝轟炸機若非低空投彈，通常是為迴避地面防砲。

¹¹ John H. McGrath, *Fire for Effect: Field Artillery and Close Air Support in the US Army* (Kansas: Combat Studies Institute Press), pp. 72-73, <https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/combat-studies-institute/csi-books/mcgrath-fire-for-effect.pdf>.

¹² Richard P. Hallion, "Precision Guided Munitions and The New Era of Warfare," *Air Power Studies Centre*, APSC Paper No. 53, 1995, <https://man.fas.org/dod-101/sys/smart/docs/paper53.htm>.

¹³ "Anti-Aircraft Weapons," *Spartacus Educational*, <https://spartacus-educational.com/2WWantiaircraft.htm>.

命中率僅 0.003%。後期隨著雷達導入以及炮手經驗增加，約 1,803 發砲彈便可擊落一架德軍飛機，¹⁴ 換算命中率約 0.054%。而德軍防砲部隊則每擊落一架敵機約需 3,000 發砲彈，換算命中率為 0.033%。¹⁵ 依照美國海軍在二次大戰的統計，艦艇的防空火砲命中率介於 0.018% 至 0.59% 之間，¹⁶ 命中率可說極低（請見表 4-1）。

相對地，大戰後期出現的雷達導引火砲則大幅提高命中率，依照英國統計，在面對德國 V-1 巡弋飛彈攻擊時，平均要耗費 2,500 發重型防砲彈藥才能擊落一枚，但在雷達導引火砲加入後，攔截率隨著部隊經驗與系統調校逐步提升，在大戰最後四週，攔截率由 24%、46%、67%，最終至 79%。¹⁷

而現代的防空火力以面對空飛彈為主，中長程的防空飛彈有實際擊落紀錄，但由於多為親俄國家發射以對抗西方國家機種，因此雖有擊落紀錄，但發射數量不明，因此暫不列計。相對地，具有大量實戰經驗的刺針（stinger）飛彈命中率高達八成，依照美軍《防砲年鑑》（US Air Defense Artillery Yearbook）資料，阿富汗戰爭期間，刺針飛彈發射 340 次，擊落 269 架前蘇聯軍機，命中概率將近 79%。¹⁸

¹⁴ Richard Overly, "The Bombing War: Europe 1939-1945," Cited in https://www.reddit.com/r/AskHistorians/comments/5c9lyr/in_ww2_how_often_did_aa_guns_actually_hit_their/.

¹⁵ Ibid.

¹⁶ "Headquarters of the Commander in Chief United States Fleet," *Antiaircraft Action Summary World War II* (Washington, D.C.: Navy Department, October 8, 1945), p. 6, <https://www.history.navy.mil/research/library/online-reading-room/title-list-alphabetically/a/antiaircraft-action-summary.html>.

¹⁷ James Burke, *The Knowledge Web: From Electronic Agents to Stonehenge and Back* (Simon and Schuster, 2010), p. 24, <https://books.google.com.tw/books?id=KCPrc5YWdCUC&pg=PA24&lpg=PA24&dq=how+many+round+artillery+hit+ratio+WWII&source=bl&ots=N30oQz5U8D&sig=ACfU3U3410Ek8fsJ0gxATgrW8chac1TbEA&hl=zh-TW&sa=X&ved=2ahUKewjbnJnXodf5AhX-qFYBHWzrBLYQ6AF6BAgsEAM#v=onepage&q=how%20many%20round%20artillery%20hit%20ratio%20WWII&f=false>.

¹⁸ EurAsian Times Desk, "After Shooting-Down Over 250 Russian Aircraft, US To Replacr Its Most Dangerous Man portable Missiles," *EurAsian*, November 13, 2020, <https://eurasianimes.com/us-to-retire-its-most-dangerous-missiles-that-shot-down-atleast-269-russian-aircraft/>.

（三）反艦火力（面對面）

至於反艦火力，僅以近代海戰較完整的調查作為參考，依照美國海軍、日本帝國海軍參戰人員的實際紀錄，經典的瓜達康納爾海戰統計，美國華盛頓號戰鬥艦擊沉日本霧島號戰鬥艦，共發射 75 發 16 吋主砲彈，約有 20 發命中，¹⁹ 換算命中率為 26%。

而反艦飛彈自二戰後問世，實戰紀錄有限。第一次是 1967 年埃及使用 3 枚 P-15 冥河飛彈擊沉以色列驅逐艦，1982 年阿根廷使用 2 枚 AM-39 飛魚飛彈（Exocet）對英國艦隊發動攻擊，1 枚命中英國雪斐爾號（HMS Sheffield），命中率 50%。後續對英國徵用商船「大西洋搬運者號」（SS Atlantic Conveyor），並以陸基飛魚飛彈命中驅逐艦格拉摩根號（HMS Glamorgan）的攻擊都單發命中，²⁰ 總和命中率達 75%。

相較之下，現代砲兵的精準導引彈藥則可用有極高命中率與精度，例如「XM155 增程砲彈計畫」（XM155 Extended Range Artillery Projectile program）採用衝壓引擎設計可將射程延伸至 70 公里以上，並可打擊戰車等移動目標。²¹ 依照美國防部資料，前期精準砲彈造價達 7 萬美元，但實戰統計約可達到 2 公尺的命中精度。²² 因此造價雖高，但對高價值目標仍極具成本效益。

又如 2008 年 3 月，發射了約 670 枚 GMLRS-U 火箭，達到 98% 的可靠性。²³ ATACMS-QRU 也取得了成功，2008 年 3 月共有 44 枚 ATACMS-

¹⁹ Robert Lundgren, edited by Tony DiGiulian, *Kirishima Damage Analysis*, September 28, 2010, p. 8, http://navweaps.com/index_lundgren/Kirishima_Damage_Analysis.pdf.

²⁰ Ian Cobain, “Exocet Missile: How the Sinking of HMS Sheffield Made it Famous,” *The Guardian*, October 12, 2017, <https://www.theguardian.com/uk-news/2017/oct/15/exocet-missile-how-sinking-hms-sheffield-made-famous>.

²¹ Defense Express, “Catch Tanks with 70km Shot from a Towed Howitzer: the New 155-mm Ramjet Projectile Passed Another Test,” *Defense Express*, August 15, 2022, https://en.defence-ua.com/news/catch_tanks_with_70_km_shots_from_a_towed_howitzer_the_new_155_mm_ramjet_projectile_passed_another_test-3895.html.

²² “FY 2014 Annual Report for the Office of the Director, Operational Test & Evaluation,” *Annual* (Washington, D.C.: Department of Defense, January 2015), <https://www.dote.osd.mil/annualreport/>, pp. 107-108.

²³ Pincoski, “Precision Guided Missiles and Rockets Program Review,” April 15, 2008, slide 10. Cited in Barry D, Watts, *The Evolution of Precision Strike*, CSBA, 2013, p. 17.

QRU 火箭使用，僅有一次失敗。²⁴

參、台灣產業與科技的鏈結

持平而言，台灣目前的無人機、精準彈藥產業相當有限，但相關的科技與次系統則是相對齊備，只是缺乏有效系統整合。二戰後至 1980 年代之間可說是運用精準導引系統的高速發展時期，包括無人機與精準彈藥等都受惠於此科技的進步，主要是電晶體的出現得以取代真空管，其固態電子零件的特性具有高可靠性與小型化的特徵，使各類精準導引彈藥蓬勃發展，包括空對空飛彈、反艦飛彈，以及反戰車飛彈等戰術武器、空對地飛彈陸續問世。同時，新導引技術也更為完備，除既有的無線電遙控外，雷達導引、雷射導引也開始應用，例如越戰時期開始出現的雷射導引炸彈，以及後續的巡弋飛彈都在此一時期建議基本雛形與應用方式。

以無人機為例由軍事科技發展觀察，「第一次技術進步是二次大戰期間無人航空器導入火箭發動機成為單次使用的飛彈，如 V1 巡弋飛彈。第二次技術創新是在二次大戰 1950 年代電晶體的發明取代真空管使得電子設備得以減輕重量與體積，同時微型噴射引擎提供另一動力選擇。第三次的技術變革，則是 1970 年代逐步運用的晶片與大型積體電路（VLSI），加上材料科學的進步得以採用複合材料，進一步減輕重量得以提升飛行性能、電子通訊、偵察能力也大為進步。第四次技術革命，則在 2010 年代大舉爆發，最重要的將是電子科技以及新式材料。首先是電子科技，採用新世代奈米積體電路的應用，同樣的晶片面積可獲致更快的運算能力，以及減少功耗，此種硬體進步也使得軟體工程的人工智慧可以導入機載模組，開創無人機更靈活的自主飛行能力，而非僅依賴程式給定的剛性規則運作，因此執行作戰任務時也將取得更佳效益。」²⁵ 而台灣相關的技術與產業包括：

²⁴ Pincoski, "Precision Guided Missiles and Rockets Program Review," April 15, 2008, slide 17. Cited in Barry D, Watts, *Ibid.*, p. 17.

²⁵ 蘇紫雲，〈無人機國防應用與產業機會——創新戰場規則的顛覆之戰〉，《金屬情報網》，前引文。

首先是晶片技術，無人機與飛彈的應用除受惠前述的幾次技術進步外，在 1990 年至 2010 年間則進入成熟期，主要得力於兩項主要技術，一是超大型積體電路（very-large-scale integration, VLSI）在 1990 年代的應用，使飛彈的飛航與任務電腦具有更強大功能，另一則是全球定位系統（global position system, GPS），可以提供精準的座標資料使飛彈在中段導引以及終端導引都可獲得精確位置，大幅提高導航效率以及彈道修正的精確度。2010 年至今可視為新世代飛彈發展期。主要為半導體製程以及原料的革新、先進奈米製程令晶片性能大幅躍進。可以這麼說，若以無人機歷經幾次的技術革新作為對照，更可看出新世代飛彈的可能發展方向。

其次，結合電子與機械的飛航控制系統也就是微機電製造，無人機由於體積較小，因此配置的電控；機械裝置都較傳統航機更為細緻，但環境耐受能力同樣是航空標準或軍規標準，因此製造精密度的要求更高。同時，體積如同蜻蜓的「微型無人機」（micro drone）也逐步面世，其尺寸界於公分等級，除前述用於「集群攻擊」的軍事用途外，也可用於產業的管道檢測、狹小空間的災害救援等民間用途。而此種微型無人機與微型無人載具的設計與製造，更是微機電科技的科技大整合，包括整合式晶片（SOC）、微型電動機，以及各類機身衍架的精密金屬加工，使得微型無人機成為飛行的瑞士錶般的緊緻精密，非常適合台灣的精密金屬加工等產業。

第三則是新式材料，可用於航空器的電子蒙皮或稱智慧蒙皮（smart skin），台灣近年逐漸成熟的石墨烯（graphene）產業，其材料成品同時具備的高強度與電導體特性，都可使無人機在設計與性能上具備更大的彈性及應用可能。預估未來的無人機將大量使用不同配方的石墨烯材料作為蒙皮，除增加強度外，主要目的在於提供匿蹤功能，降低雷達反射能量以及飛行產生的熱訊號，降低被發現的機率。同時將各類天線整合至機身，利用石墨烯蒙皮作為雷達、通訊的收發天線，進一步降低氣動阻力並增加天線的全週界收發能力。

第四是匿蹤化技術，無論是反艦、對地攻擊飛彈、無人機的設計趨勢都走向匿蹤化，藉由外型設計，以及特殊塗料或蒙皮，可大幅降低雷達

反射截面積壓縮敵方防空系統的反應時間，如此可大幅提高攻擊成功的概率。

這些技術的進步與應用，除了來自戰場需求外，由於現代軍事技術具有高度的軍民兩用（dual use）特性，因此相對也帶動了市場的需求，給市場與產業發展帶來新的契機。如第一章前文所述歐洲防務局（EDA）對精準彈藥的研究強調「對精確度的需求已經增長，既要增加打擊對手的影響，又要避免友軍和非戰鬥第三方的傷亡。」²⁶

同樣值得注意的是網路化武器（Network-Enabled Weapons, NEW）得以彌補瞄準階段的空隙，藉由發現、追蹤、接戰的整合，將使目標處理較以往更快速，並能進行攻擊效果的評估。這也有助於避免作戰行動相互衝突（de-conflicting operations）、避免重複打擊（duplication of effort）、降低友軍誤擊（potential for fratricide），並增加及時（timely manner）攻擊目標的機會。²⁷

肆、小結

台灣屬於相對國防資源有限的國家，因此要能在中共質量優勢的軍事威脅下打贏防衛作戰，就必須有全新的戰略思維。特別是對海空軍而言。由於台灣海峽的地理寬度不足，且在現代軍事技術日益進步的條件下，其空間距離所能提供的防衛屏障也就相對地縮小。

明顯例子如反艦飛彈已經成為現代軍艦的重要威脅，在 1967 年埃及首次使用海對海反艦飛彈擊沉以色列驅逐艦，1982 年的福克蘭群島戰爭，阿根廷使用空射飛魚飛彈擊沉英國巡防艦，2022 年烏克蘭以岸置反艦飛彈擊沉俄國黑海艦隊旗艦，排水量 1.2 萬噸的莫斯科號，都充分說明電子科技的進步對反艦飛彈的效益將大大增加，尤其是烏克蘭海軍實力遠不如俄國，卻能以陸制海，將是極佳參考範例。

²⁶ Pieter Taal and Vassilis Tsiamis, op. cit., https://eda.europa.eu/news-and-events/news/2012/03/07/Roadmap_and_Implementation_Plan_on_Precision_Guided_Ammunition.

²⁷ B. Koudelka, 2005, Network-enabled Precision Guided Munitions, http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/cst/bugs_ch03.pdf, accessed October 2018.

此種晶片與電子科技對無人機與精準彈藥特別關鍵，如晶片是台灣的強項，對於精準彈藥與無人機的性能也至為關鍵。依據科技媒體評估指出，「以台積電 7 奈米極紫外光機（EUV）增強版製程的晶片為例，面積約為 113.31 平方公釐，可建置電晶體數量為 103 億個，平均每平方公釐約為 9,000 萬個。而 3 奈米製程技術，電晶體數量至少將為 7 奈米製程的 3 倍達到每平方公釐 2.5 億個左右。這樣的先進製程等同可以將以往的 Pentium 4 處理器縮小到如一根針大小。其性能依照台積電總裁魏哲家表示相較第一代 5 奈米製程技術，第一代的 3 奈米製程技術的電晶體密度將提升約 70%，預算速度提升 10% 到 15%，能耗降低 15%，使得晶片的整體性能提升 25% 至 30%」。²⁸ 這將使體積有限的飛彈獲得前所未有的運算能力與全新性能。因此在台灣相關晶片、電子、次系統、微機電、精密製造業都完整情況下，全系統設計與整合若能加速，則可使台灣在無人機與精準彈藥的發展與獲得更快的部署，有效提高不對稱戰力。

²⁸ 〈台積電 3 奈米製程電晶體數約 2.5 億個，2022 下半年量產〉，《科技新報》，2020 年 4 月 20 日，<https://technews.tw/2020/04/20/tsmc-3nm-at-2022/>。