

衛星定位增強系統 於軍事作戰之運用

Application of Satellite Positioning Augmentation System in Military Operations

陳宗恒 中校、謝成 少校

提 要：

- 一、美軍於「波灣戰爭」中運用「全球衛星定位系統」結合「戰斧」巡弋飛彈，成功癱瘓伊拉克軍隊指、管、通、資、情、監、偵能力；再從2022年「俄烏戰爭」中，俄軍對烏克蘭周邊GPS訊號實施干擾，並癱瘓定位導航功能，使作戰系統運作無法正常發揮，此正足以說明衛星定位在現代化戰爭的舉足輕重地位。
- 二、美、「中」、俄等軍事強國及歐盟(EU)，為確保國家安全及戰略目的，各自建置「全球衛星導航系統」；然其訊號傳輸過程易受外部干擾，影響定位精準度。因此，藉由增強系統修正自然環境誤差，提高定位精準度，將可提升整體作戰效能。
- 三、建置衛星定位增強系統平時除提供公、民機構做為國土測量及自動駕駛使用外；戰時亦可接替導航定位功能，確保武器系統效能、精準打擊能力。我國應朝向整合戰場空間資訊、研發精準攻擊武器等面向，重視並發展衛星定位增強系統，以因應未來臺海戰場作戰需求，俾確保國家安全。

關鍵詞：全球衛星導航系統、衛星定位增強系統、精準攻擊武器

Abstract

1. In the “Gulf War”, the U.S. military successfully paralyzed the command, control, communication, information, intelligence, surveillance, and reconnaissance capabilities of the Iraqi army by using the “Global Positioning System” combined with “Tomahawk” cruise missiles. In addition, in the 2022 the “Russia-Ukraine War”, the Russian army launched GPS jamming signals to the surrounding areas of Ukraine in an attempt to paralyze the GPS navigation and positioning function of Ukraine, making the combat system unable to function normally, which shows

that the “Global Navigation Satellite System” has played a pivotal role in modern warfare.

2. The United States, “China”, Russia and other militarily superior countries have built their own “Global Navigation Satellite System” to ensure their national security and strategic purposes. However, its navigation signal transmission process is susceptible to external interference, which affects positioning accuracy. Therefore, by enhancing the system to correct natural environment errors and improve positioning accuracy, it will be improved the overall combat effectiveness.
3. Satellite positioning augmentation system can be used by public and civil organizations in peacetime; in wartime, it can improve the precision attack capability to take over the satellite positioning function to ensure the combat effectiveness of the weapon system. Our country should focus on integrating battlefield spatial information, researching precision attack weapons, etc., and pay attention to and develop satellite positioning enhancement systems to meet the needs of future battlefield operations in the Taiwan Strait to ensure national security.

Keywords: Global Navigation Satellite System, Satellite Positioning Augmentation System, precision attack weapons

壹、前言

1991年「波灣戰爭」開戰初期，美軍運用精準導引「戰斧」巡弋飛彈(Tomahawk Cruise Missile, BGM-109)攻擊伊拉克軍隊的指、管、通、資、情、偵、監系統，並重創伊軍反擊戰力。檢視美軍飛彈等武器裝備之所以能成功發揮打擊效能，主要仰賴「全球衛星導航系統」(Global Navigation Satellite System, 以下稱GNSS)¹精準定位及導航。由於美軍在短時間內摧毀伊國境內重要設施，致開戰後38

天，該國就接受聯合國決議而結束戰爭；²因此，在現代戰場上「GNSS」對戰爭成敗已具有舉足輕重的地位。2022年4月13日，「俄烏戰爭」中俄羅斯所屬「莫斯科號(Mosvka)」巡防艦遭烏克蘭2枚「海王星(Neptune Missiles)」攻船飛彈擊沉，該款飛彈射程可達280公里，除配備雷達導引外，亦具「GNSS」導引功能。³從上述案例，我們可以得知精準導航定位功能，將足以影響現代化武器攻擊效能發揮。

巡弋飛彈不僅採用「全球衛星導航系統」(GNSS)導航，其中亦包括慣性導航

註1：「全球衛星導航系統」泛指各國衛星導航系統之統稱，如特別指定某系統，將以官方名稱為主，如美軍GPS、中共BDS等。

註2：朱冬生，《世界經典戰例》，(北京：解放軍出版社，2010年1月1日)，頁271-273。

註3：〈烏克蘭稱2枚飛彈擊中「莫斯科號」俄軍證實船艦嚴重受損〉，《自由時報》，2022年4月14日，<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/3892625>，檢索日期:2023年5月8日。

(Inertial Navigation System, INS)、電視影像、雷射等多重導引模式，依精準度而言，雷射、GNSS與電視影像最為精準。由雷射導引之飛彈，攻擊全程必須對目標實施標定，且受天候影響命中精準度；而GNSS導引之飛彈不需雷達或雷射標定，僅需目標概略經、緯度位置，即可精準攻擊，但系統也易遭外部干擾影響而降低命中率；電視影像導引則受限於沙漠及海洋地形變化不大等因素，較難在上述地區發揮精準打擊效能，且過程仍需藉由定位導航導引；INS則會隨飛彈運動距離增加，誤差也隨之擴大。因此，戰爭初期，攻防雙方均會盡力阻斷敵方或維持己方的精準定位功能正常，即可在未來戰場發揮武器的精準打擊能力、確保己方優勢戰力。

國際組織「Skytruth」（一家非營利性環境監督機構）長期觀察，GPS訊號受干擾地區，將產生船舶位置錯置；若精準武器遭同樣手法干擾時，將降低其攻擊效能。因此，中共近年極力發展自己的「北斗衛星導航系統」（BDS，以下稱北斗系統）與干擾、欺騙等科技，並在沿海地區測試相關干擾技術；未來臺海戰事發生時，威信中共將運用此技術干擾阻斷美軍GPS衛星導航定位功能，造成我國導航定位失效。由於我國非太空及經濟強國，且目前

暫無需求建置一套屬於自己的「全球衛星導航系統」；然基於維護國家安全立場，透過本篇研究分析，檢討建置陸基型「衛星定位增強系統(Satellite Positioning Augmentation System, 以下簡稱SPAS)」，不僅提高我國周邊機、艦、船舶導航定位精度，戰時亦可適時接替定位服務功能，使國軍精準武器系統持續發揮戰力，進一步打擊敵人重要防護目標，俾迫使敵放棄攻臺目的，這也是撰文主要的目的。

貳、全球衛星導航系統(GNSS)介紹

各國「全球衛星導航系統」組成、運作原理「大同小異」，一般系統分別由衛星、地面監控站(含天線站)及終端用戶等構成，其運作原理係由衛星對地球發射導航訊號，終端用戶接收機接收導航訊號後，經由內部晶片計算用戶與衛星相對位置及距離，得到使用者目前位置等資訊。「GNSS」主要有4個國家建置，除美國「全球定位系統」(Global Positioning System, 以下稱GPS)外，還有俄羅斯「格洛納斯」(GLONASS)、中共的「北斗衛星導航系統」，及歐盟「伽利略」(Galileo)，各系統差別在於衛星數量、衛星軌道面、軌道高度⁵、座標系等差異(如表一)。

註4：袁崇峰，〈我國發展反衛星能力之研究〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第55卷，第6期，2021年12月1日，頁28-29。

註5：「中軌道」(MEO)衛星，距離地表2,000至3萬公里範圍內均屬之；「靜止軌道」(GEO)衛星，係赤道面上方35,786公里的圓形軌道，該軌道上衛星運行方向和地球自轉方向一致；「傾斜地球同步軌道」(IGSO)衛星，其高度與GEO相同，但GEO軌道與赤道平行，而IGSO與赤道夾角大於0度。

表一：各全球衛星導航系統統計表

管理國	美國 (GPS)	俄羅斯 (GLONASS)	歐盟 (伽利略)	中共 (北斗三號)
衛星參數				
衛星數量	24枚 3枚(備用)	21枚 3枚(備用)	26枚 (持續建置中)	MEO×24(備用3)、GEO、IGSO各×7(備用3)
衛星軌道面	MEO×6	MEO×3	MEO×3	MEO×3、GEO、IGSO各×1
軌道高度(公里)	20, 200	19, 100	23, 229	MEO 21, 500、GEO 35, 786
參考座標系	GTRF	PZ-90	WGS-84	CGCS2000

資料來源：參考“UCS Satellite Database”，May 1, 2022, <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>；〈北斗三號部署完成，GEO、IGSO和MEO三種軌道的混合星座構型有什麼特點？〉，騰訊網，<https://new.qq.com/rain/a/20200716A04KJ7>；“Reference Frames in GNSS”，eesa navipedia, https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Reference_Frames_in_GNSS，檢索日期：2023年5月5日，由作者彙整製表。

由於美軍GPS系統發展較早，且也較為穩定，因此我國民間及軍事作戰，均以運用美軍GPS系統為主。

各國建置目的主要以軍事用途與國家利益為首要考量，且由於美國GPS系統服役時間最長、且從未長時間中斷服務，系統穩定度及可靠度相對較高，普遍為各國軍事及民間接受使用。以下針對各國建置之導航定位系統，臚列說明如后：

一、美國 (GPS)

「全球定位系統」(GPS)是1973年由美國軍方設計，以「中軌道衛星」(Medium Earth Orbit, MEO)為基礎的定位和導航系統，它提供美軍一種全天候、全地域，以衛星信號做為定位源，可長期運行的衛星定位系統，而建置初期以提供軍方運用為主。1983年「大韓航空」一架007號班機因嚴重偏航，誤入蘇聯領空而遭擊落後，由於當時民航機導航主要使用特高頻全向信標定位台(VHF Omni-directional

Range，以下稱VOR)導航系統，該系統係透過地面站發射無線電波來判定飛機位置，由於VOR訊號誤差較大，也是造成班機偏航原因之一。為避免民航機因導航系統誤差產生偏航情況，美國在1984年開放GPS部分導航功能供各國使用；另外為避免GPS高精準度定位遭恐怖分子利用，也在訊號中加入「選效碼」(Selective Availability, SA)功能，以降低其精準度；然因民間定位精準度需求大增，故於2000年關閉SA碼，僅存Y碼(即反制碼【Anti-spoofing Code】)，防止未經授權者使用。⁶以下就GPS系統組成單元，概述如后：

(一) 太空衛星

1. GPS衛星設計是由24枚MEO所構成，主要分布在6個太空軌道面上，並建置3枚備用，分布於其中3個軌道上，俾適時接替異常或故障衛星，確保導航定位服務不間斷。⁷衛星運行期間，受太空環境及衛

註6：安守中，《GPS定位原理及應用》(新北市：全華圖書，2018年)，頁1-9至1-16。

註7：熊志昂、李紅瑞、賴順香，《GPS技術與工程應用》(北京：國防工業出版社，2005年)，頁9。

星燃料、電力影響，平均壽命約為7.5年，必須透過不斷發射新的衛星接替，才能保障系統運作正常。⁸

2. 為提高信號強度、抗干擾能力及精準定位，美軍已開始研發下一代GPS衛星系統，計區分三個階段，第一階段於2014年開始執行，預劃部署8枚GPS III A衛星，部署完成後，其定位精準度可提高至0.63公尺誤差範圍內，2017及2021年分別執行二、三階段衛星建置；預劃2025年8月30日全系統完成，屆時衛星資料更新不再受限於地面控制臺的位置，亦可縮短衛星更新時效。⁹

(二) 地面監控系統

系統由主控站、注入站(或稱地面天線站)及監控站組成。主控站配置大型電腦，蒐集主控站與監控站所接收衛星發射訊號，藉以推算每一枚衛星高度、位置及導航定位資訊等；若衛星位置或標準時間等資訊異常，則由主控站將修訂資料透過注入站，將修訂資料傳送至相對應的衛星儲存器中，以調整衛星狀態，確保導航精準度。¹⁰

(三) 終端用戶

終端用戶為GPS接收機使用者。接收機透過解調衛星訊號，並計算出位置、速度及時間等相對值。目前GPS系統主要用

於作戰系統時間校正、武器載臺導航、精準打擊定位以及相關學術研究。由於GPS訊號是由衛星單向提供數據給用戶，用戶並不會回傳任何訊號，故沒有使用者數量限制。¹¹

二、俄羅斯

(一) 發展概述

俄國「格洛納斯衛星定位系統」(GLONASS)系統係前蘇聯於1970年代中期所建置，設計構想與美國GPS衛星系統相似，亦包含衛星、地面監控和用戶設備，主要是為符合蘇聯等高緯度國家需求。GLONASS衛星群分布在3個太空軌道面上，每個軌道面部署8枚衛星，其中21枚提供導航服務，3枚做為備用衛星。依蘇聯設計構想，除定位訊號可涵蓋全球外，全境有九成九的地區可同時接收5枚衛星定位訊號，定位精準度明顯較GPS提升。

(二) 系統維持

1. 蘇聯解體後，俄羅斯承接該系統維護，第一代GLONASS衛星設計壽命為3年，同樣必須透過不斷發射衛星才能維持系統正常運作。後因俄國財政困難，自1996年12月至1999年12月均未發射任何衛星接替已達壽期之衛星，導致2001年GLONASS衛星數量一度僅剩7枚衛星在軌運作，嚴重影響導航定位能力。然在普丁(Vladimir

註8：曾清涼，《GPS衛星的導航》，《科學發展》(臺北市)，第467期，2011年11月，頁60。

註9：“GPS III/IIIF The New Generation of Positioning, Navigation and Timing”，Lockheed Martin, <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/gps.html>，檢索日期：2023年5月2日。

註10：同註7，頁10-11。

註11：林清一，《數位航空電子系統》(臺北市：全華圖書股份有限公司，2017年)，頁8-1~2。

Putin)總統上台後，宣示要分三階段重建該系統；第一階段在2007年前補足在軌衛星數；第二階段研發新一代GLONASS-M衛星，並於2008年前使在軌衛星數量達到18枚，確保定位導航訊號可涵蓋全球，並恢復全球定位服務；最後，利用小衛星GLONASS-K進行衛星升級，並於2010年10月重建系統在軌道中的24枚衛星，同時讓垂直定位的精準度提升至10公尺誤差內。¹²

2. 2014年俄國入侵克里米亞事件後，因遭西方國家針對晶片輸入進行制裁，致嚴重影響系統更新進度。截至2023年初，在軌衛星已超過7年以上，亦進入到衛星中後壽期階段，後續若未能及時發射衛星替代，恐影響定位系統正常運作。從2022年「俄烏戰爭」初期，俄國出現非常多失效墜毀或炸偏目標的現況觀察，證明GLONASS在抗干擾能力上應是相當脆弱。¹³

(三) 發展精準導航

俄國海軍為提高導航定位精準度，籌建新一代精準導航無線電系統(Radio Navigation System, RNS)-「章魚-N1」(Sprut-N1)，現已建置2個地面站。此系統連接並提高GLONASS系統定位精準度，並成為其地面備用系統；當定位系統遭電子攻擊後，導航功能喪失，Sprut-N1地面

站可持續發送編碼信號，提供飛機及船艦定位導航使用。¹⁴

三、中共

中共於1983年提出「北斗導航衛星系統」(BDS)的建置計畫，以「先區域、後全球」的構想，區分兩個階段建置。摘要說明如后：

(一)「北斗一號」與美國GPS或俄羅斯GLONASS構型不同，美、俄衛星系統以無源定位為主，使用端不需發射任何訊號，即可透過衛星訊號完成定位服務；「北斗」則採有源定位技術，用戶端必須向北斗衛星發射信號，透過衛星轉發至主控站，主控站根據信號傳播時間計算用戶位置，再透過衛星轉發至用戶端，完成定位服務。主控台必須依照不同用戶請求，計算出定位位置，除同一時間內用戶容量受到限制；另用戶端必須發送請求定位服務，其訊號源易遭敵偵測，易暴露部隊位置，且受信號傳播延遲影響，較不利精準武器導控。¹⁵

(二)為改善「北斗一號」系統缺陷，中共於2004年開始籌建性能更高、涵蓋範圍廣的「北斗二號」衛星定位系統，比照美、俄等國所建造「GNSS」特性，改採無源定位方式，提高用戶端定位隱蔽性，但

註12：趙琳、丁繼成、馬雪飛，《衛星導航原理及應用》(西安：西北工業大學出版社，2011年)，頁199-200。

註13：林欣，〈為何烏克蘭雷達都被炸爛了還能精準打下俄戰機？專家：全仗這兩「武功秘笈」〉，Newtalk新聞，2022年3月23日，<https://newtalk.tw/news/view/2022-03-23/727949>，檢索日期：2023年5月2日。

註14：“New Sprut-N1 precision navigation system created for the Russian Navy”, Navy Recognition, <https://www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2019/february/6853-new-sprut-n1-precision-navigation-system-created-for-the-russian-navy.html>，檢索日期：2023年5月2日。

註15：同註12，頁234-238。

該系統仍保留短訊通信的功能，因此使用者可透過此功能向主控站回報自己位置或傳送訊息，有利於中共的作戰指揮中心掌握船艦、戰機及地面部隊位置的追蹤與調度，利於建立聯合共同作戰圖像。

(三)2012年習近平掌權後，有鑑於共軍的維和派遣與人道救援任務遍及全球，遂於2015年啟動「北斗三號」衛星建置作業，概況如后：

1. 系統有別於其他三個「全球衛星導航系統」，除規劃部署27枚「中軌道」衛星外，亦部署3枚傾斜同步軌道和5枚「靜止軌道」(Geostationary Orbit, GEO)衛星，定位精準度提升至2.5公尺；另由於中軌道衛星壽命較短，若未能及時彌補衛星空缺時，可運用「傾斜同步軌道」(Inclined Geosynchronous Satellite Orbit, IGSO)及靜止軌道上的衛星訊號填補，使導航定位服務不受到影響。「BDS」於2020年7月29日完成衛星組網，導航定位服務涵蓋全球，¹⁶系統建構完成後不僅有利共軍遠航長航或跨區作戰使用，亦不至再發生如「1996年臺海危機」時，美軍因關閉GPS訊號，連帶影響共軍後續行動。¹⁷

2. 一般「GNSS」係由地面監控站監控太空衛星狀態，美國GPS及俄羅斯GLONASS

系統地面監控站分布全球，而中國大陸缺乏海外支點條件下，發展透過衛星間鏈路傳輸衛星監控與資料校正，因此不受地面監控站位置影響，可即時對衛星進行監控與調校，這也是美軍GPS系統刻正升級的方向。¹⁸

四、歐盟

(一)2001年，由「歐洲太空總署」(European Space Agency, ESA)與「歐洲導航衛星系統管理局(European GNSS Agency)」設計製造「伽利略衛星定位系統」(Galileo)。建置目的主要用於歐盟國家，低精度定位服務免費提供用戶使用；高精度定位則是提供付費使用者，其可提供目標1公尺以內的定位解析度。直至2023年5月，該系統已有24枚衛星運作中，距離全系統部署30枚衛星(含3枚備用衛星)組網還有一步之遙，現已具備初始定位服務能力。¹⁹

(二)有別於其他系統，「Galileo」主要以民間運用為主，為避免各管理國因戰爭發生而停止系統服務，用戶只要配備系統相容的接收機即可接收定位訊號。伽利略座標與「國際地面參考系統」(International Terrestrial Reference System, ITRS)兩座標之誤差小於3公分；

註16：鍾堅，〈中國大陸北斗衛星定位系統近況〉，《展望與探索月刊》(新北市)，第16卷，第6期，2018年6月，頁5。

註17：盧伯華，〈頭條揭密〉1996臺海危機 陸當時為何未動武？〉，中時新聞網，2021年11月23日，<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20211123000636-260407?chdtv>，檢索日期：2023年5月8日。

註18：林明智、葉勁宏，〈中國大陸發展北斗衛星導航系統之軍事戰略意涵〉，《空軍學術雙月刊》(臺北市)，第686期，2022年2月，頁19。

註19：“Galileo system”，European Commission，https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space-policy/galileo/galileo-system_en，檢索日期：2023年5月8日。



圖一：俄羅斯干擾烏克蘭GPS示意圖(位置如藍、綠小框)

資料來源：參考Anusuya Datta, “HawkEye 360 Detects GPS Jamming Along Ukraine Border Prior to Russian Invasion”, GEOSPATIAL WORLD, MARCH 4, 2022, <https://www.geospatialworld.net/blogs/hawkeye-360-detects-gps-jamming-along-ukraine-border-prior-to-russian-invasion/>，檢索日期：2023年5月8日，由作者彙整製圖。

²⁰雖與GPS座標系不同，但兩者精準度相似，使得該系統與GPS既能獨立又可互為備援，讓定位訊號不會因為兩者中任何一個系統關閉而無法運作。²¹

(三)「Galileo」搭配搜救衛星(COSPAS-SARSAT)提供搜尋與救援服務，當接獲求救訊號後，系統會針對求救訊號發射位址予以定位，再將定位資訊傳送至資料處理中心，並提供相關的機構和組織進行搜救。²²

參、衛星定位增強系統發展現況

衛星長年運行於太空中，其導航定位誤差包含衛星端、傳輸路徑及人為蓄意干擾。衛星端部分可透由地面監控站即時校正；傳輸路徑訊號因穿過電離層、增溫層產生折射、繞射及衰減等多重路徑誤差，屬訊號物理特性，僅能透過「衛星定位增強系統」(Satellite Positioning Augmentation System, SPAS, 以下簡稱增強系統)予以修正，提高其導航定位精準度。據美國「鷹眼360商用衛星公司」(HawkEye 360)公布內容，俄羅斯於2022年2月入侵烏克蘭前，即對烏國與白俄羅

註20：國際地面參考系統(ITRS)是國際定義一個大地測量的座標系統。每個GNSS有屬於自己的地理測量系統，如美軍GPS測量系統為WGS-84，最新版本是WGS-84與國際的ITRS相同。

註21：同註12，頁229-230。

註22：賴盈霖，〈伽利略定位系統初探 剖析架構/頻率規畫/訊號調變〉，《新通訊元件雜誌》(臺北市)，2008年1月21日，<https://www.2cm.com.tw/2cm/zh-tw/magazine/-Technology/82380CB3D8B340B8B3EEB8FE334742B6>，檢索日期：2023年5月8日。COSPAS-SARSAT搜索救援衛星是由43個國家和民間機構所組成的合作計畫。透過該衛星全球監控並接收國際遇難信號406MHz，接收船舶、飛機遇難信號提供超過200個國家給予救援。

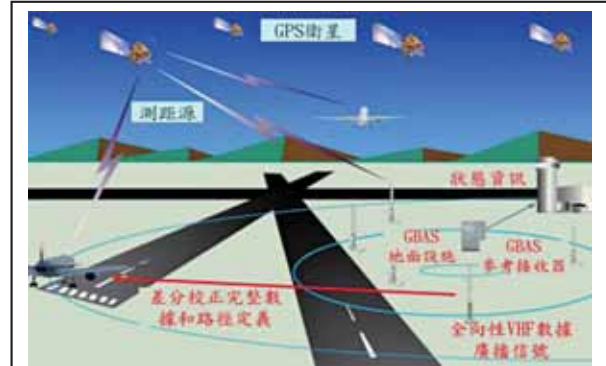
斯邊境發射GPS干擾訊號(如圖一)，企圖阻斷烏國周邊GPS導航定位功能，並導致無人機運作受阻。至於人為蓄意干擾導致系統運作受阻部分，則可透過地面虛擬衛星系統即時接替，確保系統運作正常。

「SPAS」其工作原理係透過地面參考站、發射站或衛星所組成的網路，利用地面參考站接收「全球衛星定位系統」訊號後，經計算參考點與衛星定位資訊間誤差後，將誤差修正訊號透過發射站或太空衛星對所在區域廣播，提升使用者定位精準度，俾有助民航機精準進場、降落或船舶於狹窄航道的安全航行。系統區分為「陸基型」(Ground-Based Augmentation System, GBAS)及「天基型」(Satellite-Based Augmentation System, SBAS)等兩類，分述如后：

一、陸基型增強系統(GBAS)

(一)工作原理

係由地面參考站、主控站及廣播站構成。目前「GBAS」以美國所主導的「局部區域增強系統」(Local Area Augmentation System, LAAS)較為成熟。主要建置於機場附近，服務範圍約為半徑40-50公里，經由地面站的特高頻(Very High Frequency, VHF)無線電發射器，來提供GPS差分修正訊息，確保飛機進場極高定位精準度(如圖二)。LAAS其垂直與水平方向的



圖二：陸基型增強系統運作示意圖

資料來源：參考“LAAS/GBAS”，Stanford University, <https://gps.stanford.edu/research/current-and-continuing-gpsnt-research/laasgbas>，檢索日期：2023年5月5日，由作者彙整製圖。

定位誤差均低於1公尺以內，且訊號可涵蓋整個跑滑道，並減少助導航設施架設成本。²³

(二)運用概況

美國國防部利用「局部區域增強系統」(LAAS)設計和認證的經驗，發展「聯合精確進場與著陸系統(JPALS)」，是美國海軍新一代戰機與艦艇配備的精確降落技術。它整合海、空域氣象資訊、著艦條件及GPS衛星導航定位等訊號，據稱其定位精準度可達20公分以內，使戰機安全性、甲板使用率均達到最大保障，充分減輕戰機飛行員操作壓力。²⁴

(三)結合虛擬衛星系統

全球衛星定位導航訊號是由衛星向地球表面輻射，若從地面發射與衛星定位導航訊號相同訊號格式，則稱為「虛擬衛星

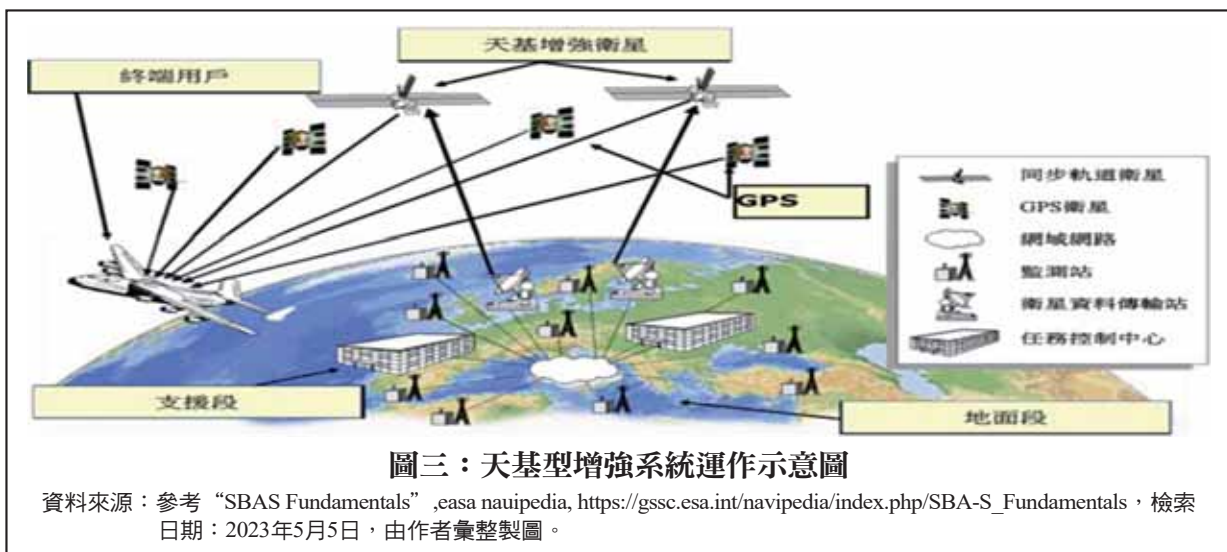
註23：“Local Area Augmentation System (LAAS)”，International Committee for Airspace Standards and Calibration, <http://www.icasco/resources/local-area-augmentation-system-laas/>，檢索日期：2023年5月6日。

註24：吳賜山，〈協助F-35精準降落 日海自「出雲號」砸2.6億裝JPALS系統〉，Newtalk新聞，2023年2月14日，<https://newtalk.tw/news/view/2023-02-14/857438>，檢索日期：2023年5月4日。

表二：「衛星定位增強系統」功能分析表

分類	陸基型(GBAS)		天基型(SBAS) 衛星定位增強系統
	增強系統	虛擬衛星系統	
優點	1. 成本較低、可維修、功率可調整。 2. 不受他國影響。 3. 可整合虛擬衛星系統。	1. 不需參考站。 2. 定位訊號穩定。	1. 建置數量少、涵蓋範圍較廣。 2. 不易遭飛彈攻擊破壞。
缺點	1. 建置數量多、涵蓋範圍較窄。 2. 易遭飛彈攻擊破壞。	1. 涵蓋範圍較窄。 2. 易遭飛彈攻擊破壞。	1. 技術較高、故障維修不易。 2. 需不斷更新衛星。

資料來源：由作者彙整製表。



系統」(Pseudo Satellite System)。其與「增強系統」最大的差異是虛擬衛星不需要地面設施計算定位訊號校正值，由系統自行產生定位訊號，當全球衛星導航訊號消失後，仍可適時提供定位服務。因地面站是固定的，且導航訊號並不會穿透電離層，可大幅減少訊號誤差、架設及維護成本也較低。其缺點包含訊號傳播易受地形地貌影響，涵蓋範圍較小，不利於跨國使用；另使用者若要透過虛擬衛星系統執行定位，必須同時接收3個(含以上)虛擬衛

星訊號(優缺點，如表二)。

二、天基型增強系統(SBAS)

「SBAS」與「GBAS」運作原理相似，最大差異在於修正後訊息傳播方式(如圖三)。「SBAS」係由地面參考站接收全球導航衛星訊號後，計算出定位訊號誤差校正值，由衛星傳輸站將校正值傳送至靜止軌道衛星，並對所在區域廣播校正訊號，服務範圍較廣，且不受地形影響，具有跨國共用的特性，精準度可達3公尺以下。²⁵ 美國、日本、歐洲、印度及韓國均有各自

註25：“Satellite Navigation - WAAS - How It Works”, Federal Aviation Administration, https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas/howitworks，檢索日期：2023年5月5日。

表三：各國天基型增強系統比較表

國家	系統名稱	服務區域	衛星數量	地面參考站	精 度
美國	WAAS	北美洲	3枚	38個	1.5公尺
歐洲	EGNOS	歐洲地區	3枚	40個	1.5公尺
日本	QZSS	亞太地區	4枚	6個	2.2公尺
印度	GAGAN	印度地區	3枚	15個	3公尺
韓國	KASS	韓國周邊	2枚	7個	1公尺

資料來源：參考“Satellite Navigation-Wide Area Augmentation System(WAAS)”,Federal Aviation Administration,https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas；“What is EGNOS?” European Space Agency,https://www.esa.int/Applications/Navigation/EGNOS/What_is_EGNOS；“Overview of the Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)”,Quasi-Zenith Satellite System, https://qzss.go.jp/en/overview/services/sv01_what.html；“GAGAN - GPS Aided GEO Augmented Navigation”,U R Rao Satellite Centre,https://www.ursc.gov.in/navigation/gagan.jsp；“Korea to Launch SBAS IN 2022”, Inside GNSS,November 18, 2020, https://in-sidegnss.com/post/，檢索日期：2023年5月5日，由作者彙整製表。

的增強系統(如表三)，各國「SBAS」現況扼要說明如后：

(一)美國(WAAS)

1. 由於GPS無法提供足夠的精度或完整性，民航機若僅依此系統不足以執行精準進場；因此美國「聯邦航空總署」(Federal Aviation Administration, FAA)於上世紀90年代發展「廣域增強系統」(Wide Area Augmentation System, 以下稱WAAS)，訊號服務涵蓋國境內所有空域、加拿大及南美洲等地。WAAS極為精準，不僅提供民航機在航路導航、起飛和降落機場等定位資訊，同時亦可使用此系統執行儀器引導著陸。²⁶

2. 系統由地面參考站、靜止軌道衛星、主控站臺及衛星資料傳輸站所組成。地

面站主要接收GPS信號後經校正信號並計算誤差；主控站臺則對誤差訊息做差分計算產生修正訊號；傳輸站再將修正訊號注入靜止軌道衛星負責修正訊號廣播。由於WAAS系統資訊未與GPS接收機相容，必須額外採購具WAAS系統接收機裝備，始可獲得精準度定位訊號。²⁷

(二)歐洲(EGNOS)

歐洲使用的「同步衛星導航疊加系統」(European Geostationary Navigation Overlay System, 以下稱EGNOS)主要增強美國GPS導航定位水平及垂直精準度達到1.5公尺以內，²⁸並自2009年10月1日起免費提供給支援「EGNOS」的GPS接收器，不需要特殊的授權或認證。²⁹歐盟會員國及挪威、冰島等國家民航機場均以該系統執

註26：“Satellite Navigation - Wide Area Augmentation System (WAAS)”,Federal Aviation Administration,https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas，檢索日期：2023年5月6日。

註27：同註26。

註28：范眠，〈歐洲推出EGNOS 定位比現行GPS精密五倍〉，iThome，2009年10月5日，https://www.ithome.com.tw/node/57367，檢索日期：2023年5月6日。

註29：“What is EGNOS?” European Space Agency, https://www.esa.int/Applications/Navigation/EGNOS/What_is_EGNOS，檢索日期：2023年5月6日。

行民航機精密進場程序，並經驗證具有有效改善飛行安全性和強化機場物流的潛力。³⁰

(三) 日本 (QZSS)

1. 日本「多功能衛星系統」(MTSAT Satellite Based Augmentation System, MSAS)是由日本國土交通省民航局開發和營運，它最初是以使用的「多功能運輸衛星」(Multi functional Transport Satellite, MTSAT)命名；系統於2007年9月27日開始運行，主要監控衛星在軌工作狀態，確保SBAS精準度。³¹2018年「準天頂衛星3」(QZS-3)接替原使用「MTSAT-2」靜止軌道衛星功能，因此更名為「準天頂衛星系統」(Quasi Zenith Satellite System, QZSS)。

2. 2018年11月起，訊號已可涵蓋亞洲至大洋洲，透過「QZS-3」提供穩定及高精準度的定位訊號；因與GPS訊號相容，不需額外採購接收機，可降低採購成本。³²未來預劃再發射3枚靜止軌道衛星，屆時系統將由7枚衛星組成。完成後在日本地區可同時接收4枚(含)以上訊號；若美軍GPS訊號中斷後，可適時接替定位功能。³³

(四) 印度 (GAGAN)

印度於2012年7月17日完成所屬空域的SBAS(GPS Aided GEO Augmented Navigation, GAGAN)建置，成為繼美、歐、日等國之後，第四個建立區域「SBAS」的國家，訊號服務範圍除領土外，並包含非洲至澳洲，可支援全球民航精準導航。系統亦具備與美國WAAS、歐洲EGNOS和日本QZSS等系統相容性。³⁴

(五) 韓國 (KASS)

韓國於2013年啟動「KASS」計畫(Korea Augmentation Satellite System)，由法國泰利斯·阿萊尼亞太空公司(Thales Alenia Space)擔任首席承包商，並與韓國航空研究院(KARI)共同開發和部署該系統。KASS運用於民航機導航上，可依空中航機現況配置出最短的航線，盡可能縮短出發機場與目的地之間的距離，最終提高空域容量，同時減少燃料消耗和污染。系統預計將為韓國地區的航空、運輸、測量、計時、無人機系統和其他行業帶來更高的定位精度和可靠性等技術優勢。除運用層面上的益助外，亦能強化韓國在導航晶片的發展。³⁵

註30：〈立陶宛的維爾紐斯機場是第一個具備EGNOS的機場〉，GNSS.asia，2020年8月4日，<https://taiwan.gnss.asia/new/vilnius-airport-became-the-first-egnos-equipped-airport-in-lithuania/>，檢索日期：2023年5月6日。

註31：坂井丈泰，北村光教，〈MSAS 信號による測距精度の評価〉，《測位航法學會論文誌》，2001 Vol.12 No.1 pp.1-7。

註32：“Overview of the Quasi-Zenith Satellite System(QZSS)”, Quasi-Zenith Satellite System, https://qzss.go.jp/en/overview/services/sv01_what.html，檢索日期：2023年5月7日。

註33：“What is the Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)?”, Quasi-Zenith Satellite System, https://qzss.go.jp/en/overview/services/sv02_why.html，檢索日期：2023年5月7日。

註34：“GAGAN - GPS Aided GEO Augmented Navigation”，U R Rao Satellite Centre, <https://www.ursc.gov.in/navigation/gagan.jsp>，檢索日期：2023年5月7日。

註35：“Korea to Launch SBAS IN 2022”，Inside GNSS, November 18, 2020, <https://insidegnss.com/post/>，檢索日期：2023年5月8日。

肆、衛星定位增強系統之軍事運用

當前戰機及船艦多已配置GPS衛星定位系統接收裝備，且GPS系統更具一定程度精確度，不僅可提供武器系統定位及對時用，並滿足現代戰場需求；未來若能再建置「衛星定位增強系統」(SPAS)，將使武器攻擊效能升級，亦可讓戰機及船艦能更精確飛(航)行，同時大幅減少助導航設施建置成本。有關「SPAS」於戰場運用特點，臚列分析如后：

一、提升作戰效能

(一)源頭打擊

現代化戰爭講求遠距、精準打擊，面對中共武力犯臺威脅，一旦戰事發生，我國應運用巡弋飛彈等各式精準攻擊武器，對中共東、南部戰區重要關鍵設施(如指揮中心、機場、港口等)實施源頭打擊，藉以削弱其後續作戰能力；因此，定位導航精準度，將影響源頭打擊效果。近年來，各國重要指揮中心均以地下化及抗炸為設計前提，以美軍現有GPS導航定位精準度誤差在3公尺以上，可能要發射多枚飛彈或炸彈，才能成功癱瘓其重要軍事設施；換言之，透過「SPAS」提升國軍精準武器導航定位精確度，將有助於減少我軍彈

藥浪費，並重創共軍侵臺戰力。

(二)水雷作戰

由於水雷係一種隱密性的武器，一經布設後，較不易為敵偵獲，且對於後續清掃亦十分不易。因水雷係透過感應(包含音響、磁性及壓力等)方式自動觸發引爆，能防止敵軍船艦順利登陸；因此，國軍可依作戰進程在海上布雷，阻敵船艦靠近我國沿海。³⁶另一方面，我方艦艇航經雷區亦可能觸發爆炸，故必須精確掌握布放位置，避免誤擊。未來將水雷結合類似漁民漁網所繫衛星電浮標概念(如圖四)，此種回報器系統透過加密無線電或衛星通訊訊號，精確回傳水雷位置，不僅可有效阻絕敵船艦登陸，亦能確保己方船艦安全，且可於戰事後安全回收，亦凸顯「SPAS」展現之戰場功效。

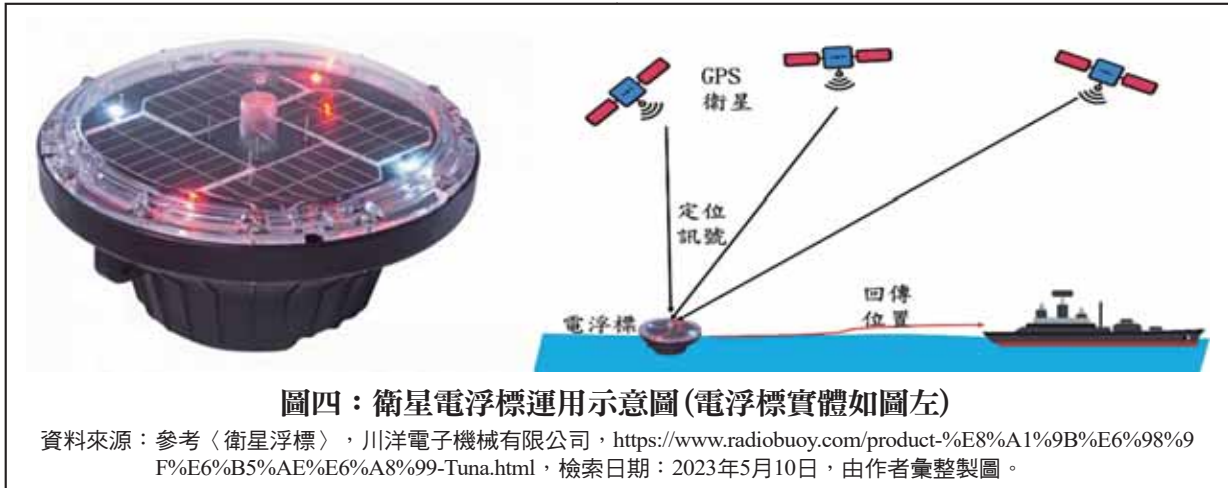
二、發揮整體戰力

(一)無人系統

美國海軍為達成「分散式海上作戰」(Distributed Maritime Operations)概念，積極研發各種型式無人水面載具(USVs)以適應未來戰場。³⁷由於USVs採低雷達截面積(RCS)設計，雷達系統偵測不易，為避免無人系統影響有人系統正常運作，裝備必須配置全球衛星定位系統，並透過無線電或通訊衛星將實際位置回傳有人系統

註36：洪信國、彭群堂，〈針對共軍登陸威脅論國軍水雷作戰作戰效益〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第53卷，第5期，2019年10月1日，頁101-103。

註37：翟文中，〈美國海軍無人海洋系統發展之研究〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第57卷，第1期，2023年2月1日，頁24-26。



圖四：衛星電浮標運用示意圖(電浮標實體如圖左)

資料來源：參考〈衛星浮標〉，川洋電子機械有限公司，<https://www.radiobuoy.com/product-%E8%A1%9B%E6%98%9F%E6%B5%AE%E6%A8%99-Tuna.html>，檢索日期：2023年5月10日，由作者彙整製圖。

或指揮中心；因此，衛星定位訊號正常與否，將影響有、無人系統協同作戰順遂。有鑑於此，維持衛星定位精準度及抗干擾能力便格外重要，且直接影響無人系統戰力發揮良窳。

(二) 反潛作戰

執行反潛作戰時，往往必須派遣一定規模兵力於潛艦可能出沒海域進行大範圍的水下搜索，當進入潛艦高威脅區時，反潛機、艦會投放主/被動聲納浮標，再將所偵獲水下聲紋資料回傳艦、機載臺，做為執行反潛獵殺之依據。³⁸如將聲納漂浮與「SPAS」結合，屆時反潛機、艦，甚至低軌道通信衛星均能迅速接收聲納漂浮傳送之精確目標位置，不僅能快速掌握敵軍潛艦位置，發揮整體作戰效能；另一方面亦可節約反潛兵力。

三、確保定位系統韌性

衛星定位系統已被普遍用於軍事作戰及武器載臺上，美國陸軍更為「M1A1」戰車(M1 Abrams)裝配固定式精確導航授時系統(Mounted Assured Precision Navigation & Timing System, MAPS)，其目的為確保部隊在GPS訊號被干擾、假冒的狀況下，仍可獲得準確的位置及時間數據。³⁹2022年「俄烏戰爭」中，各方都觀察到此等干擾情形幾未間斷；且由於中共已具備GPS干擾及欺騙能力，未來中共發動對臺軍事行動時，肯定會進行定位訊號干擾，阻斷我武器系統效能發揮。因此，我國應建置地面虛擬衛星發射站並結合「SPAS」，平時除提供衛星差分修正訊號，提高我國周邊海、空域導航定位精準度外；當GPS訊號遭干擾時，藉由「SPAS」發射站

註38：薩爾斯，〈潛艦空中剋星 反潛直升機與反潛巡邏機〉，《青年日報》，2022年12月15日，<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1552552&type=forum>，檢索日期：2023年5月10日。

註39：〈軍情動態〉為電子戰部署！美軍M1A1裝設抗干擾GPS系統，《自由時報》，2021年6月1日，<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/3553765>，檢索日期：2023年5月10日。

，加大訊號功率，持續提供定位、導航及標準時間等服務功能，將能確保我國精準武器攻擊戰力發揮。

四、維持反擊戰力

作戰初期，我國機場跑道為敵方首要攻擊與摧毀的戰略目標，一旦跑道遭到攻擊破壞之後，需透過緊急搶修能力，俾在最短的時間之內，迅速恢復跑道的起降功能。若跑道執行緊急搶修之際，擔任作戰任務即將返航的戰機，僅能轉往備降機場落地。因此，考量戰機剩餘的油量、落地後勤整補、飛行員休整及再出擊等多重因素，可在機場附近設置戰備跑道，以供緊急情況的起降與疏散運用。⁴⁰再者，戰備跑道開放除考量後勤補給外，助導航設施亦是考量因素之一；若能運用「SPAS」提高精確進場能力，可有效縮短戰備道開放時效，確保空中反擊戰力維持。

伍、啟示-代結語

2022年2月爆發「俄烏戰爭」初期，俄國對烏國邊境進行GPS干擾阻斷定位導航訊號，並取得電磁優勢，進一步阻斷飛彈及無人機攻擊，其效果確實驚人。值此臺海情勢「兵凶戰危」之際，我國應謹慎思考如何確保戰時GPS訊號正常運作，並積極強化訊號精準度，方能建立我國防嚇

阻能力。綜整各國「SPAS」發展概況，及未來作戰可能面臨的威脅，對我國防建設應有之啟發，摘舉如后：

一、即時整合戰場空間資訊

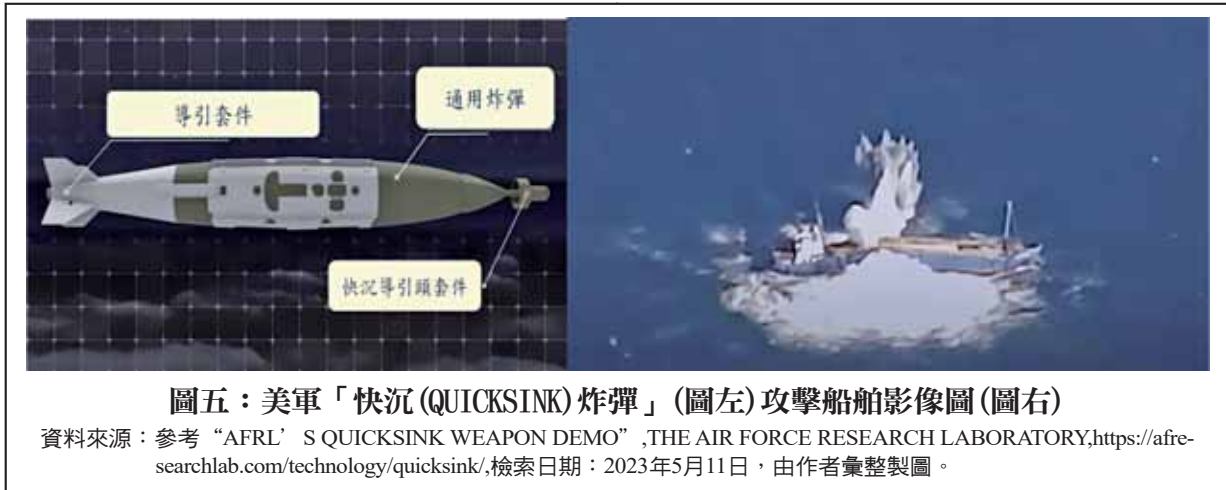
我國已建置「數據鏈路系統」(Data Link)，並有效整合武器載臺資訊，然隨著無人系統及電子攻擊武器的快速發展，海峽衝突初期，我軍雷達系統恐遭電子干擾而無法發揮功效，因此各武器系統載臺應安裝「SPAS」接收機，結合現有數據鏈路系統傳輸能力，才能即時且精確掌握作戰部隊與敵軍位置，有利於指揮官決策命令下達。畢竟即時戰場空間資訊的掌握，將攸關作戰成敗；因此，可參考烏克蘭在遭俄國干擾後採取之作法，將無人機部隊結合低軌道通信衛星，並將戰場資訊迅速回傳，以精準打擊敵軍目標，確保即時掌握戰場「機會之窗」。

二、重視衛星定位增強系統發展

「SPAS」將是未來精準定位導航系統運用趨勢，若我國亦能順利完成增強系統建置，除提供民航機、船舶精確定位服務外，亦有助與國際接軌、強化國家間的鏈結。⁴¹再者，我國防衛作戰屬性以「守勢」為主，「SBAS」受限火箭發射技術較多；因此，應以「GBAS」建置為主，不僅摒除傳統助導航設施受限於固定的地形、區

註40：許邁德，〈【軍事論壇】完善戰備跑道 強化戰力保存〉，《青年日報》，2022年2月20日，<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1484407&type=forum>，檢索日期：2023年5月10日。

註41：吳琍君，〈差分全球導航衛星系統明年上線 大幅提升台海航行安全〉，中央廣播電台，2019年12月6日，<https://www.rti.org.tw/news/view/id/2044041>，檢索日期：2023年5月11日。



域、空域及航路結構等影響，在使用及維修上也較為彈性。政府高層應整合國家太空科技與技術、優化資源分配，確保發展目標案階段達成。

三、發展精準導引武器

世界已有多國致力研發在傳統炸彈或砲彈加裝GPS導引系統，如美軍於2022年測試新型「快沉」(QUICKSINK)智慧型炸彈(係改良的2,000磅GBU-31/B「聯合直接攻擊炸彈」【JDAM】)，並成功擊沉一艘大型拖網漁船(如圖五)。⁴²由於精準攻擊武器受各國輸出管制限制，以我國國際地位現況，確實取得不易；然透過「國家中山科學研究院」現有技術水準，研發將傳統炸彈或砲彈結合「定位增強系統」，不僅能強化對敵攻擊能力，亦可嚇阻中共放棄對臺動武。

現代戰場上，精準定位已是戰爭獲勝必要條件之一，而精準武器攻擊效能發揮

，取決於定位訊號能否穩定；當前各國均極力發展各式精準攻擊武器，我國自應審慎評估發展利基。由於國家資源有限，如何整合軍、民能量，平時提供國內各項精準導航外，戰時亦可化民力為戰力，將「SPAS」轉換成虛擬衛星系統，接替定位功能，以確保導航定位精準度及訊號運作不受中共電子干擾影響，方能有效發揮武器系統作戰效能，達成防衛作戰任務。 ⚓

作者簡介：

陳宗恒中校，空軍航空技術學院94年班、國防大學空軍指揮參謀學院109年班。曾任空軍七三七聯隊電戰官、通信官、空軍二十電戰大隊電戰官及資通電軍電子作戰中心電戰官，現服務於國防大學空軍指揮參謀學院。

謝成少校，專業軍官班98年班、國防大學空軍指揮參謀學院111年班。曾任空軍通航資聯隊通信官、通參官及分隊長，現服務於空軍司令部通資處。

註42：蔣巧薇，〈如同被撕兩半!被炸船隻40秒內沉入海底 美新型炸彈「快沉」壓制中國艦艇〉，Newtalk新聞，2022年5月16日，<https://newtalk.tw/news/view/2022-05-16/755483>，檢索日期：2023年5月11日。