

淺談防禦高超音速飛彈之研究

A Brief Discussion on Research into Hypersonic Missile Defense

海軍中校 許祐銓

提 要：

- 一、高超音速飛彈結合彈道飛彈及巡弋飛彈的優點，具備射程長、速度快、類型多樣、飛行靈活等特點，能有效突破現今彈道飛彈防禦系統(BMDS)防護的能力，可運用此型飛彈以較小成本打擊對手防空系統，已在「俄烏戰爭」、「以伊戰爭」中獲致實戰的成果。
- 二、目前高超音速飛彈的普級與用於軍事行動的趨勢，已獲得各國高度關注，尤其美國在全球各地部署軍隊，以及對盟友安全承諾等因素，美國刻正籌建新一代「彈道飛彈防禦系統」(BMDS)，以抵禦高超音速飛彈的威脅。
- 三、美國新一代「彈道飛彈防禦系統」(BMDS)係在原有系統基礎上，提升偵測、攔截及指揮管制能力，打造綿密監偵系統、多層次攔截機制及即時、穩定通訊的指管系統，冀望有效攔截高超音速飛彈的突襲，確保重要設施及部隊等關鍵節點安全。我國面對中共高超音速飛彈能力提升的威脅，確實應對此議題發展寄予高度關注。

關鍵字：高超音速飛彈、彈道飛彈防禦系統

Abstract

1. "Hypersonic missiles" combine the advantages of both ballistic and cruise missiles, featuring long range, high speed, diverse types, and flexible flight paths. These characteristics enable them to effectively penetrate current ballistic missile defense systems(BMDS). This type of missile can be used to strike an adversary's air defense systems at a relatively lower cost, and has already achieved practical results in conflicts such as the Russia-Ukraine War and the Israel-Iran conflict.
2. The proliferation of hypersonic missiles and their increasing use in military operations have garnered global attention. Given the United States' worldwide military deployments and its security commitments to allies, the U.S. is currently building a new generation of missile defense systems to counter the hypersonic missile threat.
3. The United States' next-generation Ballistic Missile Defense System

(BMDS) aims to enhance its detection, interception, and command and control capabilities based on the existing system. It seeks to establish a dense surveillance and detection system, a multi-layered interception mechanism, and a real-time, stable communication command and control system. This system is intended to effectively intercept surprise attacks by hypersonic missiles, ensuring the security of critical facilities and troops at key nodes. Facing the escalating threat from the Chinese Communist Party's enhanced hypersonic missile capabilities, our nation should pay close attention to the developments in this area.

Keywords: Hypersonic Missiles、BMDS

壹、前言

德國於1944年「第二次世界大戰」期間，使用「V-1」、「V-2」飛彈攻擊英國倫敦開始，此舉無疑已將戰爭型態開展至飛彈時代的篇章；隨後，全球對抗態勢進入長達50年的「冷戰」時期，美國與前蘇聯進入軍備競賽。為確保各自國家安全，遂發展出「相互毀滅」(Mutual Assured Destruction)的戰略思維，進而加速飛彈的研發進程，最終研發出可飛越海洋遠距攻擊對方領土的「洲際彈道飛彈」(Inter Continental Ballistic Missile，以下稱ICBM)¹，再結合核子彈彈頭，可稱為滅國等級的戰略型武器，同時將作戰區域從大氣層內擴展至外太空。

除用可攻擊對手的方式來確保安全的戰略思維之外，美、蘇也採防禦的概念建立了「彈道飛彈防禦系統」(Ballistic Missile Defense System，以下稱BMDS)，以反制對手來襲的飛彈為目的，並分別發

展出監偵、打擊及指揮決策系統，可有效偵測彈道飛彈的發射、飛行軌跡，運用數據鏈路將飛彈資料傳送至指揮決策中心(通常為作戰中心)進行威脅評估與決策下達，指揮相應的攔截武器摧毀來襲的飛彈，隨著BMDS建置完善，更能有效防範飛彈攻擊。

然而，「高超音速飛彈」(Hypersonic Speed Missile)的問世再次激起「矛」與「盾」的競爭，此型武器運擁有速度快、機動高、難偵測等特性，可有效突破現今BMDS的層層防護，並已在「俄烏戰爭」、「以伊戰爭」中實戰成為突破對手防空系統的利器，引發各國對防範是類飛彈的重視，並規劃提升現有BMDS性能。因此，本文以「彈道飛彈防禦系統」為中心，並就高超音速武器發展與運用、BMDS現況及如何因應新威脅等面向實施探討，提供各方瞭解攔截高超音速飛彈主流作法的發展，期做為我國攔截此型飛彈之準備方向，這也是撰寫本文主要目的。

註1：〈洲際彈道飛彈〉，《新編國軍簡明美華軍語辭典》(臺北市，國防部，2021年11月8版，頁694。

貳、各國與中共高超音速飛彈發展現況

彈道飛彈的攻擊與防禦競爭已有半世紀之久，原「彈道飛彈防禦系統」(BMDs)亦可有效監視與攔截現有的彈道飛彈攻擊；隨著高效能引擎技術突破，提升飛彈的速度與靈活度，進而發展出高超音速飛彈是類新型武器，再度打破飛彈攻防的平衡。以下就是類飛彈的定義、類型、各國及中共發展、實戰案例等面向，臚列說明如後：

一、高超音速飛彈定義與種類

所謂「高超音速」(Hypersonic Speed)，從「氣動熱力學」(Aerothermodynamics)觀點定義為音速5倍以上(即5馬赫)。²俄國、中共、朝鮮(即北韓)、伊朗已部署的「高超音速飛彈」速度介於5~15馬赫，在如此高速下進行方向微調，可提高飛彈難以預測能力，也對飛彈防禦系統產生巨大壓力。此型飛彈與彈道飛彈主要差異在於其引擎及彈頭部安裝的載具型式，現今「高超音速飛彈」的發展型態主要可分為兩種，區分為「高超音速巡航載具」(Hypersonic Cruise Vehicle，以下稱HCV)、

「高超音速滑翔載具」(Hypersonic Glide Vehicle，以下稱HGV)。³上述兩者皆具有機動性高的飛行軌跡，相較一般「洲際彈道飛彈」，更不易預測其飛行軌跡，且具低空飛行的特性，可延後敵軍雷達發現的時機，進而提高突防成功的機會(如圖一)。⁴兩種類型載具概況，分述如下：

(一)高超音速巡航載具(HCV)

1. HCV是配有推進系統的載具，能使載具以高超音速巡航飛行，可應用於武器系統或是太空飛機。典型的高超音速巡航載具是使用超燃衝壓引擎(Scramjet)，載具需要透過其他方式(如固態火箭、運輸機等)將載具加速到4~5馬赫以上，達到超燃引擎的運作條件才可啟動，並於20~30公里的高空進行高超音速巡航飛行。⁵

2. 因超燃衝壓引擎啟動速度需求仍高，現行主流為「雙模式超燃衝壓引擎」(Dual-mode Scramjet)、「雙燃燒室衝壓引擎」(Dual-Combustor Ramjet，DCR)為主，引擎從較低馬赫數開始啟動，增加其運作範圍及發射載臺適用性。近年各國較知名的發展，計有美國「X-51」(如圖二)、「HAWC」計畫(Hypersonic Air-breathing Weapon Concept，HAWC)；俄國「HELA

註2：Yasmin Tadjeh, "SPECIAL REPORT: Defense Department Accelerates Hypersonic Weapons Development," National Defense Magazine, July 11, 2019, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2019/7/11/defense-department-accelerates-hypersonic-weapons-development>，檢索日期：2025年7月22日。

註3：莊博凱、黃星諺、魏子翔、賴祐炫，〈極音速載具發展趨勢與應用〉，《新新季刊》(桃園市，國家中山科學研究院)，第50卷，第3期，2022年7月，頁16。

註4：同註3，頁16。

註5：陳彥名，〈淺析美國、俄羅斯及中共極音速武器發展現況〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第57卷，第2期，2023年4月1日，頁58。

高超音速飛彈

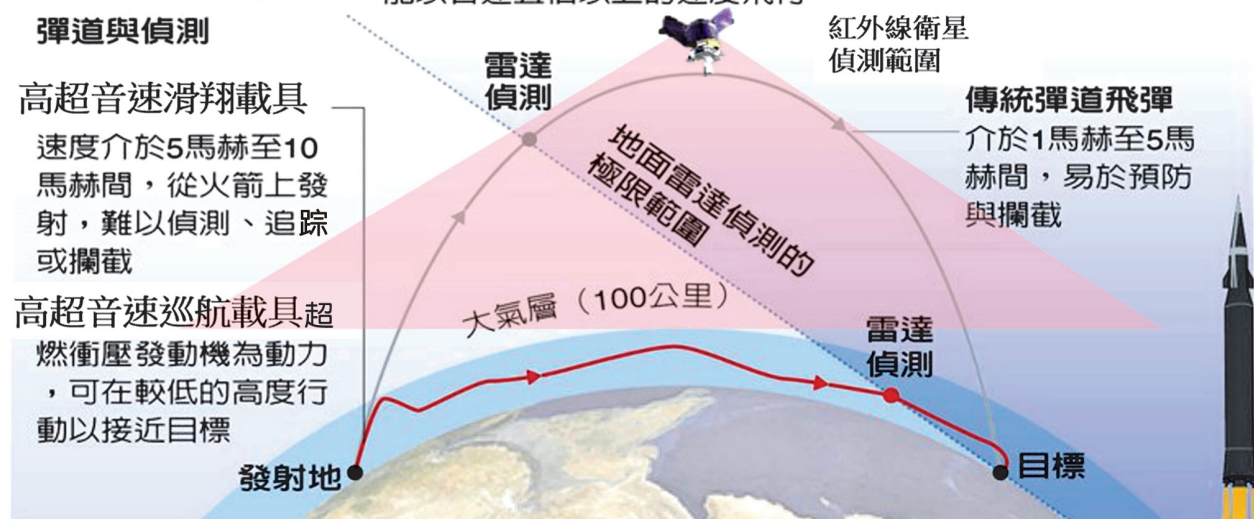
彈道與偵測

高超音速滑翔載具

速度介於5馬赫至10馬赫間，從火箭上發射，難以偵測、追蹤或攔截

高超音速巡航載具超燃衝壓發動機為動力，可在較低的高度行動以接近目標

被視為下一代武器，比起傳統武器或核彈更難被偵測，並且能以音速五倍以上的速度飛行



圖一：高超音速飛彈種類與飛行示意圖

資料來源：參考「Analysis: Why North Korea's Hypersonic Missile Test Is Troubling」VOA, Jan.19, 2022, <https://www.voanews.com/a/analysis-why-north-korea-s-hypersonic-missile-test-is-troubling/6404637.html>，檢索日期：2025年7月27日，由作者彙整製圖。

」計畫(Hypersonic Experimental Flying Vehicle, HELA)、鎢石導彈(Zircon)；澳洲主導的跨國合作計畫-「HyShot」、「HIFiRE」；中共「凌雲導彈」；印度「HSTDV」(Hypersonic Technology Demonstrator)計畫。其他如英、德、韓、日等國亦有投入研究。⁶

(二) 高超音速滑翔載具(HGV)

1. HGV是以彈道飛彈等載具，將此滑翔載具運載至40~100公里的高空施放，再以無動力滑翔至目標地(如圖三)。HGV外型需有高升阻比的特性，使載具飛行的升力與重力相當，以達到滑翔的目的。飛行軌跡會受到載具外型設計，以及施放時的

飛行狀況等因素，同時具有特定的飛行高度、速度及攻角。

2. 近年氣動場模擬的技術發展成熟，使得製造出高超音速滑翔載具(HGV)的可行性大幅提升，致使各國開始爭相發展，美國方面有海軍「傳統迅速打擊計畫」(Conventional Prompt Strike, CPS)、陸軍「長程高超音速武器計畫」(Long Range Hypersonic Weapon, LRHW)、空軍「空射快速反應武器計畫」(Air-launched Rapid Response Weapon, ARRW)；中共則有裝置於東風-17型導彈(DF-17)之滑翔彈頭部；俄國有「先鋒導彈」(Avangard)；日本「超高速滑翔載具計畫」(Hyper-Velocity

註6：同註3，頁17。



圖二：美國X-51高超音速飛彈

資料來源：“X-51A-waverider,” U.S. AIR FORCE, <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104467/>，檢索日期：2025年8月10日。

Gliding Projectile, HVGP)，其他國家亦有相關測試正在進行，因此可以見得各國非常重視HGV的發展。⁷

二、多國發展現況

發展高超音速飛彈需投入龐大的研發費用；因此，經濟實力強之國家可研發多款之飛彈，如美國、俄國、中共等。囿於經費受限或技術瓶頸等因素，第三世界國家透過他國技術轉移或協助，優先發展地對地型的高超音速飛彈。各國發展現況（如表一）及運用實例，分述如後：

（一）美國

1. 2008年時，美國「國防部長辦公廳」（Office of the Secretary of Defense，OSD）統整高超音速武器發展技術，整合成「常規快速全球打擊專案」（Conven-



圖三：高超音速滑翔載具

資料來源：〈Hypersonic Technology Vehicle 2〉，維基百科，https://en.wikipedia.org/wiki/Hypersonic_Technology_Vehicle_2#/media/File:Speed_is_Life_HTV-2_Reentry_New.jpg，檢索日期：2025年8月8日。

tional Prompt Global Strike, CPGS)，目標係發展一款非核武器系統，系統包括多款新型高超音速武器，使美國具備能在1小時內精準攻擊地表上任何一處地點的能力。⁸

2. 美國陸軍於2019年公布由「國防先進研究計畫局」（Defense Advanced Projects Agency, DARPA）與陸軍合作推動的「作戰火力飛彈」（Operational Fires, Op-Fires），2022年7月13日首度試射成功（如圖四）。「作戰火力飛彈」於輪型機動車輛上發射，射程約800公里，彈頭屬HCV，並以超過5馬赫的速度精準命中目標。⁹

3. 美國空軍於2018年公布「空射快速反應武器計畫」（Air-launched Rapid Re-

註7：同註3，頁17~18；同註5，頁66。

註8：“National Defense Budget Estimates,” FY21 Green Book(Virginia: DoD,2020), p.46。

註9：“Operational Fires Program Successfully Completes First Flight Test,” DARPA, July 13 2022, <https://www.darpa.mil/news/2022/operational-fires-flight-test>，檢索日期：2025年7月24日。

表一：各國高超音速飛彈諸元綜整

國 家	美 國		俄 國			朝 鮮	伊 朗
代 號	OpFires	AGM-183A	先 鋒 (Vanguard)	鋯 石 (Zircon)	匕 首 (Kinzhal)	火星8	法塔赫 (Fattah)
射程(公里)	800	1,600	6,000	400	2,000	3,000	1,400
速度(馬赫)	5	20	20	5~6	10~12	15	13~15
發 射 型 式	陸射	空射	陸射	艦、潛射	空射	陸射	陸射
彈 頭 種 類	HCV	HGV	HGV	HCV	HCV	HGV	HCV
現 況	研發中	研發中	已部署	2024首度用 於實戰	2023首度用 於實戰	已部署	2025首度用 於實戰

資料來源：作者自行彙整製表。

sponse Weapon，ARRW)，由「洛克希德馬丁公司」(Lockheed Martin Corp.)研製與測試原型機-「AGM-183A」(如圖五)。2019年6月12日「AGM-183A」掛載在「B-52」轟炸機上起飛，完成首次試飛，最大飛行速度9馬赫以上，可裝載13~20公斤的炸藥；¹⁰2022年12月12日，首次完成「完整彈藥」試射，並且達成所有測試計畫目標，飛彈與「B-52」轟炸機分離後，點燃助推火箭上升至預定高度，彈頭部的高超音速滑翔載具(HGV)隨即分離，以超過5馬赫穩定飛行，並完成預定路徑命中目標區。該款飛彈射程1,600公里，速度20馬赫，將超越「中」、俄現役高超音速飛彈，可使用「B-1B」、「B-52H」等轟炸機與「F-15E」戰機掛載發射。¹¹

(二)俄國

1. 「先鋒導彈」(Vanguard)為新型戰略彈道導彈，彈頭屬高超音速巡航載具(HCV)，最高速度為20馬赫，射程6,000公里，搭載於兩節液體火箭推進的「UR-100N洲際彈道導彈」(SS-19)上，2019年開始服役，截至2025年5月，至少已部署12枚該型導彈。¹²

2. 「鋯石導彈」(Zircon)屬艦射、潛射型高超音速導彈，彈頭同樣屬高超音速巡航載具(HCV)，速度5~6馬赫，射程400公里，於2016年首度試射成功，2021年分別在驅逐艦和核潛艦上成功發射，證明此型彈的穩定性和可靠性，亦具備攻擊海上移動目標能力。¹³2024年2月7日，俄國曾使用該款導彈攻擊烏克蘭首都基輔，並成為該型彈首次實戰運用。¹⁴

3. 「匕首導彈」(Kinzhal)於2017年研

註10：“Army Futures Command Concept for Fires 2028,” (Austin：U.S. Army Futures Command,2021),pp.4~6。
註11：陳成良編譯，〈震撼！美AGM-183A高超音速飛彈成功試射 影片曝光〉，《自由時報》，2022年12月14日，<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/4154693>，檢索日期：2025年7月29日。
註12：徐雍、劉書麟，〈淺析快速發展中的極音速飛彈〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第54卷，第6期，2020年12月1日，頁11~13；“Avangard,” CSIS, April 23, 2024, <https://missilethreat.csis.org/missile/avangard/>，檢索日期：2025年8月9日。
註13：同註3，頁23；同註12，頁13~15。



圖四：美國作戰火力飛彈

資料來源：“Operational Fires Program Successfully Completes First Flight Test,” DARPA, Jun. 13 2022, <https://www.darpa.mil/news-events/2022-07-13a>，檢索日期：2025年7月23日。

發生產，為全球首款服役的高超音速導彈，彈頭屬HCV，速度10~12馬赫，射程2,000公里，可由「米格-31」(Mig-31)、「蘇愷-57」(Su-57)隱形戰機及「Tu-22」轟炸機搭載，並在超音速飛行下發射，以提升該款導彈的速度與射程。¹⁵2022年3月18日，在「俄烏戰爭」中首度投入實戰，成功突破烏克蘭防空系統，攻擊摧毀位於烏國西南部伊凡-法蘭科夫(Ivano-Frankivsk)市郊傑利亞京(Deliatyn)地區的一座地下軍火庫。¹⁶

(三) 朝鮮

2021年9月，該國進行「火星-8型」



圖五：美國AGM-183A 飛彈

資料來源：“Lockheed Martin,” <https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/news-releases/2021/another-successful-hypersonics-test.html>，檢索日期：2025年7月29日。

導彈發射試驗，彈頭部搭載高「超音速滑翔載具」(HGV)，試驗飛行200公里，在高度30-60公里的大氣層內進行遠程滑翔，射程約為2,000~3,000公里。2022年1月，進行兩次新型中程彈道導彈試驗發射，預判已開始作戰部署，能精準打擊海上移動目標能力。¹⁷

(四) 伊朗

2025年6月15日，該國於以傳統導彈搭配「法塔赫」(Fattah)高超音速導彈共計400枚空襲以色列首府特拉維夫，成功突破美、以兩國聯合研製的「鐵穹」(Iron Dome)與「戰區高空防禦系統」

註14：“Ukraine believes Russia used its Zircon hypersonic missile for first time,” Reuters, Feb 12 2024, <https://www.reuters.com/world/europe/russia-uses-zircon-hypersonic-missile-ukraine-first-time-researchers-say-2024-02-12/>，檢索日期：2025年8月4日。

註15：同註12，頁15~16。

註16：許伯崧，〈俄羅斯「匕首」極音速飛彈首用於實戰 極音速武器是什麼？〉，公視新聞網，2022年3月22日，<https://news.pts.org.tw/article/572740>，檢索日期：2025年7月29日。

註17：申仲基，〈北韓高超音速飛彈發展與因應方案〉，《國防政策專文研究》(首爾，韓國國防政策研究院)，2022年2月，頁8。

表二：中共高超音速飛彈諸元綜整表

型 號	東風-21D	東風-26	東風-17	鷹擊-21
照 片				
射 程	3,000公里	3,000-4,000公里	1,800-2,500公里	1,000-1,800公里
速 度	6-10馬赫	18馬赫	6-10馬赫	10馬赫
C E P	10公尺	100公尺	10公尺	10公尺
載 臺	機動車輛	機動車輛	機動車輛	艦艇、戰機
攻擊類型	陸岸	陸岸	艦船、陸岸	艦船、戰艦機

說明：CEP指圓形公算誤差，彈頭或投射物50%以上的機率會落在目標點周圍的圓形半徑距離，CEP越小表示武器的精確度越高。

資料來源：參考Jordan Wilson, "China's Expanding Ability to Conduct Conventional Missile Strikes on Guam," U.S.-China Economic and Security Review Commission(Washington, D.C.: USCC, May 10, 2016), p.4；劉上清，〈國防部：東風-26型導彈列裝火箭軍部隊〉，中共國防部，2018年4月26日，http://www.mod.gov.cn/gfbw/spbb_214126/tbtj/4811224.html?big=fan；楊幼峰，〈航母殺手東風-21D〉，《兵工科技防務面對面》(西安市)，2019年7月，頁26；林芷瑩，〈解放軍打擊航母殺手「鷹擊-21」高超音速導彈作戰性能首公開〉，香港01，2023年2月5日，https://www.hk01.com/article/863962?utm_source=01articlecopy&utm_medium=referral，檢索日期：2025年7月23日，由作者彙整製表。

(Theatre High Altitude Area Defense，THAAD，亦稱薩德系統)的飛彈防禦。¹⁸該款導彈速度可達13-15馬赫，搭載HCV彈頭，射程約為1,400公里。¹⁹

三、中共發展高超音速導彈現況(如表二)

(一)東風-21D型導彈

該型導彈2010年完成部署，並於2018年1月完成性能提升，屬中程彈道導彈，射程3,000公里，「圓形公算誤差」(Circular error probable，以下稱CEP)²⁰約10

公尺，彈頭為高超音速巡航載具(HCV)具有雷達主動導引、雷達成像匹配導引能力，終端速度6-10馬赫；以能突破航空母艦及周圍艦艇的防空導彈防禦為特點，可攻擊移動中航艦。²¹該款導彈彈頭屬HCV早期設計，變軌能力低於「東風-17型」導彈，部署已超過10年，作戰運用與穩定度佳，同時數量也最多。

(二)東風-26型導彈

2018年4月完成部署，屬中程彈道導彈，射程3,000-4,000公里之間，CEP誤差

註18：許庭瑛，〈以色列攔不住？擋伊朗導彈成功率90降到65% 可能原因曝〉，中時新聞網，2025年6月21日，<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20250621001193-260408?chdtv>，檢索日期：2025年8月2日。

註19：“Fattah-1 Hypersonic Missile”，Army Recognition, June 19 2025, <https://armyrecognition.com/military-products/army-missiles/hypersonic-missiles/fattah-1-hypersonic-missile>，檢索日期：2025年8月7日。

註20：〈圓形公算誤差〉，〈新編國軍簡明美華軍語辭典〉(臺北市，國防部)，2021年11月8版，頁610。

註21：楊幼峰，〈航母殺手東風-21D〉，《兵工科技防務面對面》(西安市)，2019年7月，頁26。

在100公尺，可攻擊在關島的重要美軍基地；因此，被稱為「東風快遞」。²²其屬核常兼備導彈，可遂行快速核反擊任務，並具備對海上中、大型移動目標精準打擊能力，²³該款導彈彈頭屬於HCV早期設計，變軌能力與CEP精度略低，但是射程遠。

(三)東風-17型導彈

首次展示於2019年中共建政閱兵，彈頭部為高超音速滑翔載具(HGV)，編號為「DF-ZF」或「Wu-14」，射程1,800-2,500公里，速度可達6-10馬赫，CEP約10公尺，屬核常兼備武器，具變軌能力佳及無動力滑翔特性，更難偵測，突防能力最佳。

(四)鷹擊-21型導彈

共軍官方網站-「中國戰略支援」2023年2月5日公布一款「鷹擊-21型」高超音速導彈射擊影片，該款導彈由「055型」導彈驅逐艦發射，文中並說明導彈射程1,000-1800公里，在終端導引階段以10馬赫速度命中目標，現階段任何反導彈系統均無法攔截。由於該型導彈的部署讓中共海軍在近海防禦目標中，建置具破壞力

的戰力，進一步提升「拒止作戰」能力。

²⁴該導彈彈頭屬高超音巡航載具(HCV)，加上中共成功將高超音速導彈微型化，可安裝於艦艇垂直發射系統上，以增加偵測難度及延伸打擊距離；另2025年4月1日，中共「中央電視臺」報導共軍在臺海周邊軍演期間，由「轟6K」戰機搭載空射型「鷹擊-21型」高超音速導彈一併參與演習，可見此款飛彈亦已具備空射能力，²⁵可運用海上、空中發射，並具飛彈突防能力佳的特性，對海上艦艇威脅甚大。

2020年2月，美軍「北方司令部」(United States Northern Command, US-NORTHCOM)司令泰倫斯上將(Terrence O' Shaughnessy)於美國參議院指出，中共海軍可能會仿俄國艦射式「鋁石」導彈技術，在「巨浪二型」潛射彈道導彈上配備有核子彈頭的「高超音巡航載具」(HCV)，此將進一步強化中共戰略嚇阻能力。²⁶比較中共與各國高超音速飛彈技術發展，中共方面射程最長為4,000公里，卻未有長距離(5,500公里以上)之彈種，

註22：Jordan Wilson, "China's Expanding Ability to Conduct Conventional Missile Strikes on Guam," U.S.-China Economic and Security Review Commission(Washington, D.C.: USCC, May 10, 2016), p.4。

註23：蔡瑞金、唐永梅，〈東風-26型導彈成建制成系統裝備部隊〉，中共國防部網，2018年4月27日，<http://www.mod.gov.cn/gfbw/wzll/hjj>，檢索日期：2025年8月13日。

註24：林芷瑩，〈解放軍打擊航母殺手鐮「鷹擊-21」高超音速導彈作戰性能首公開〉，香港01，2023年2月5日，https://www.hk01.com/article/863962?utm_source=01articlecopy&utm_medium=referral，檢索日期：2025年8月2日。

註25：魏有德，〈轟-6K掛「鷹擊-21」彈道飛彈參與圍臺軍演 具防區外打擊能力〉，ETtoday新聞雲，2025年4月2日，<https://www.ettoday.net/news/20250402/2936125.htm>，檢索日期：2025年8月2日。

註26：Andrew Erickson and Ryan D. Martinson, "China's Expanding Global Reach: Implications for U.S. National Security," Feb 20 2020, <https://carnegieendowment.org/2020/02/20/china-s-expanding-global-reach-implications-for-u.s.-national-security-pub-81068>，檢索日期：2025年8月6日。

威嚇力略顯不足，未來可能持續研發是類飛彈；另中共目前可發射載臺為機動飛彈車、艦艇、戰機，相較潛艦發射，易遭敵偵知與反制，使戰術運用上仍受到一定限制。

參、高超音速飛彈軍事運用

近年中共、俄羅斯、朝鮮及伊朗等國已陸續部署高超音速導彈或運用於軍事行動中，凸顯其運用價值。以下就此類導彈的特性及攻擊實例，說明「彈道飛彈防禦系統」(BMDs)運作模式，再分析「高超音速飛彈」如何突破BMDs的防禦，從中剖析其軍事運用。囿於美國彈道飛彈防禦系統建置最完善，僅就此型導彈如何突破美國的BMDs做案例說明，內容摘陳如後：

一、高超音速導彈突防「彈道飛彈防禦系統」

(一)彈道飛彈防禦系統運作方式

1. 美國在離地面3,600公里地球靜止軌道上部署3枚「國防支援計畫衛星」(Defense Support Program Satellite, DSP)，以紅外線方式偵測來襲飛彈產生的熱能；若飛彈在衛星下方發射，將讓衛星無法偵測到發射瞬間，需待彈體上升一定高度後才可測得。²⁷BMDs主要任務是防禦攻擊美國本土的飛彈，對於保護部署海外的美軍基地及盟國彈道飛彈威脅的需求上

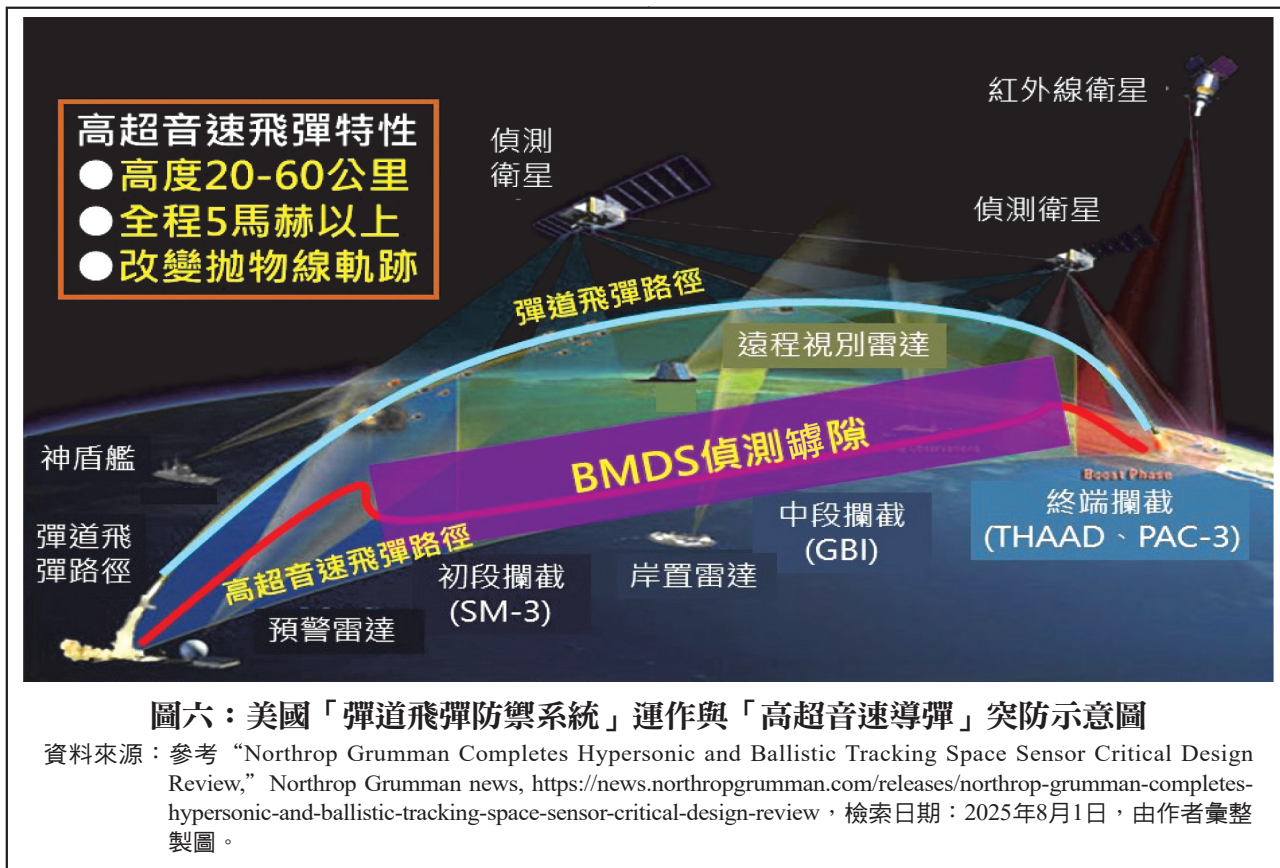
，美國則以部署「戰區飛彈防禦系統」(Theatre Missile Defense, TMD)做為因應，主要用於攔截射程3,000公里的彈道飛彈(如圖六)。

2. BMDs將防禦空層分為大氣層外、大氣層上、下層，彈道飛彈發射進入推升階段時，由監視衛星偵獲並進行全程追蹤，同時將來襲飛彈資訊鏈傳給各單位進行威脅評估，待飛行至大氣層上層時由美軍神盾艦實施鎖定並發射「標準-3型」飛彈(Standard Missile-III, SM-III)進行第1次攔截。來襲飛彈飛行至大氣層外時，飛彈依飛行的最大距離和最具效率的射程考量，調整飛行高度、角度及速度，並以最小能量彈道進行拋物線飛行；因此，「洲際彈道飛彈」(ICBM)飛行的最高高度大約是1,300公里，而「中程彈道飛彈」(Medium Range Ballistic Missile, MRBM)大約是6,000公里。²⁸

3. ICBM藉大氣層外無空氣阻力飛行可達30分鐘，可有效增加飛彈射程，在大氣層外BMDs採中段攔截，由「陸基飛彈攔截器」(Ground-based Interceptor, GBI)進行第2次攔截，進入終端階段前，再由「戰區高空防禦系統」(THAAD)進行第3次攔截，來襲飛彈重返大氣層內進入終端攻擊階段，則由「愛國者3型」(Patriot Advanced Capability-III, PAC-III)飛彈進

註27：狩野良典著，魏俊崎譯，《飛彈的科學》(臺中市，晨星出版有限公司)，2019年12月12日，頁26。

註28：〈中程彈道飛彈〉，《新編國軍簡明美華軍語辭典》(臺北市，國防部)，2021年11月8版，頁748。



行第4次攔截。²⁹

(二)高超音速導彈運作

高超音速導彈係為突破美國所建置的飛彈防禦系統而建造，導彈在進入滑翔階段前，彈頭脫離推升火箭後，其飛行特性是遊走在美國建立的「彈道飛彈防禦系統」(BMDS)的運作罅隙之中，高度介於20~60公里，既遠高於戰機、飛機，亦遠低於低軌道衛星，且超過5馬赫的速度加上機動變軌等特性，使美國部署的「國防支援計畫衛星」(DSP)衛星難以偵測或預

判彈頭飛行軌跡。囿於地球曲率遮蔽較低飛行高度的武器，當距離接近至500公里左右才會被地面雷達或「神盾」系統所偵獲，此時彈頭已進入終端攻擊階段，一般只剩約3~5分鐘的時間做出反應；此時高超音速導彈運用其主動導引能力，精準導航及主動歸向、終端閃避等能力繼續攻擊目標。³⁰凸顯該款飛彈的飛行特性，除高超音速結合彈道導彈與巡弋飛彈的優點外，尚具有低高度、速度高、機動性高、突防性佳等優異特性，令對手防不勝防。

註29：同註27，頁124。

註30：Abraham Mahshie, “Hypersonics Defense,” Air Force Magazine(Virginia: Air & Space Forces Association, Jan.19, 2022), p.43。

二、高超音速飛彈軍事運用

(一) 發射載臺多樣化，壓縮反應空間

高超音速飛彈以彈道飛彈的相關技術為基礎發展而成，初步研製受彈體體積大及重量的限制較難突破，故首先以岸置發射為優先發展方向，並運用可機動、避免發射地點預先遭鎖定特性；主要以機動發射載臺來設計，如中共「東風-21型、26型、17型」導彈，隨著研製技術提升，可對導彈進行輕量化及微型化(如鷹擊-21型)，使彈體可安裝在空間狹小的艦艇彈箱、潛艦彈艙內實施發射，並運用其機動性延伸射程及酬載量大等特性，進一步提高超音速導彈的運用。另俄國「匕首」導彈，掛載在戰機或戰轟機上，除運用飛機低飛縮短遭雷達測獲距離及減少飛彈推升耗能外，亦能有效縮短對手反應時間，增加攔截來襲導彈難度。

(二) 優異突防能力及動能，有效打擊關鍵節點

各型高超音速飛彈部署，係藉高速、低高度、變軌、終端導能力及攻擊海上中、大型移動目標等特性，使其具備突破飛彈防禦系統的多層攔截的能力，尤其飛彈藉末端速度達15~20馬赫的動能所產生巨大破壞力，單發高超音速飛彈便可重創對手防空系統、航艦等關鍵節點，使防空系

統喪失功能或讓航艦艦載機無法起飛。此外，並可大幅縮減對手防空能力或削減航艦戰鬥群戰力、防禦縱深，亦可搭配次音速飛彈進行多彈飽合攻擊，超過BMDS偵測及攔截負荷，增加攔截難度。

(三) 潛射式高超音速飛彈，提升戰略威嚇效果

潛艦具備行動隱蔽、偵測及反制不易特性，可有效深入對手控制區執行任務，再加上搭配潛射式飛彈，為最有效之戰略、戰術型兵力；若將潛射式飛彈換裝為高超音速飛彈，於近距離發射時，可壓縮對手反應距離與時間，再加上高超音速的突防優勢，將能大幅提升威嚇能力。

肆、高超音速飛彈反制作為

美國原為因應傳統彈道飛彈威脅，遂建置「彈道飛彈防禦系統」(BMDS)以為因應，隨著中共、俄國等國陸續部署新型的高超音速導彈，除可突破BMDS的防禦，且成功攻擊美國部隊與領土的風險逐步提升；另美國為因應高超音速導彈的威脅，美國「飛彈防禦倡導聯盟」(Missile Defense Advocacy Alliance, MDAA)³¹於2022年即分析該型導彈的特性與限制因素，並審視現有BMDS，進而提出新一代飛彈防禦系統計畫，規劃逐年投入預算研發與建置

註31：「飛彈防禦倡導聯盟」(MDAA)係美國非營利組織，主要目標為提升對飛彈防禦重要性的認識，並推動相關政策和技術的發展，倡導並爭取公眾支持美國及其盟友開發和部署有效的飛彈防禦系統。“U.S. Missile Defense An Overview of Past, Current, and Future Roles & Responsibilities” (Washington, D.C. : MDAA, April 2022),p.8。

。 ³² 相關計畫分述如後：

一、飛彈特性與限制因素

高超音速飛彈突防能力優異，唯飛彈仍在大氣層中進行變軌飛行，導致彈體受到空氣動力與物理現象影響，相較一般彈道飛彈為大，各主要國家也紛紛分析此款飛彈的特性與限制因素，研發因應及反制方案。以下就此型飛彈限制因素，分析如後：

(一) 飛行高熱易遭衛星偵測

高超音速飛彈全程在大氣層中高速飛行，彈體與大氣摩擦所產生的高熱，使表面溫度可達攝氏1,500-2,000度，易遭部署在太空的紅外線衛星系統偵測，³³並可藉熱能訊號來識別高超音速飛彈發射、飛行及下降，提供預警資訊。故提高紅外線衛星的偵測靈敏度成為有效的監偵手段。

(二) 飛彈變軌大幅縮短射程

高超音速飛彈的彈頭部(包含HCV、HGV)重量約4,500至9,000公斤，當彈頭脫離推升火箭進行中段飛行時，可運用方向舵和彈翼，調整高度或改變方向進行變軌，但代價是降低速度和縮短射程。美方專家表示，以15馬赫飛行的高超音速滑翔載具(HGV)為例，如果在40公里高空飛行，進行30度轉向需耗時7分鐘，高度必須下

表三：15馬赫下高超音速飛彈飛行變量表

下降高度	轉 向	耗 時	射 程
2.5公里	30度	7分鐘	-15%
5公里	30度	3.5分鐘	-25%

資料來源：參考Abraham Mahshie, "Hypersonics Defense," Air Force Magazine(Virginia: Air & Space Forces Association, Jan.19, 2022), p.44，由作者彙整製表。

降2.5公里，飛行曲率半徑大約是4,000公里，相較一般道彈飛彈射程縮減百分之十五。若HGV高度下降5公里，轉向耗時縮短為3.5分鐘，但相對射程會縮減四分之一(如表三)。³⁴

(三) 轉向產生震動易造成飛彈失效

當HCV或HGV在高度50公里飛行時，利用飛彈與大氣摩擦時產生之升力進行機動，同時亦會產生大量熱能、壓力及震動，故飛彈材料強度是其飛行成功的關鍵因素。飛彈重量達4,500至9,000公斤，並以超過5馬赫的速度飛行，些微偏向就會產生巨大震動，所形成的衝擊波會直接作用在飛彈上，造成彈翼、控制介面鬆動或脫落，影響飛彈整體運作，甚至失速墜毀。³⁵

二、新一代彈道飛彈防禦系統簡介

美國總統川普於2025年1月27日簽署一項行政命令籌建美國鐵穹(Iron Dome of America)，旨在要求美軍開發防衛美國本土的多層次防空系統，³⁶隨後改名稱

註32：同註31，頁26~28。

註33：同註30。

註34：同註30，頁44。

註35：Abraham Mahshie著，周敦彥譯，〈論極音速武器之防禦(Hypersonics Defense)〉，《國防譯粹》(臺北市)，第49卷，第9期，2022年9月1日，頁9。



為「金穹」(Golden Dome)。經與美國「飛彈防禦局」(MDA)2020年公布新一代飛彈防禦系統(BMDS)架構比對，³⁷兩計畫內容大致相同，規劃新建偵測及防禦系統，並融入現行BMDS中，形成「偵打一體」的系統(如圖七)，並區分偵測、攔截及指管系統等部分，計畫簡述如後：

(一) 偵測系統

1. 太空預警系統：

建立高超音速與彈道飛彈追蹤偵測器衛星(Hypersonic and Ballistic Tracking Space Sensor，以下稱HBTSS)，並與「高空全時紅外線系統」(Overhead Persistent Infrared，OPIR)、「太空發展局」(Space Development Agency，SDA)的「寬視場衛星」(Wide Field of View，WFOV)共同負責高超音速飛彈飛行區域的監測，對目標進行初步識別、追蹤，進而

註36：“The Iron Dome for America,” The White House, January 27, 2025, <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/01/the-iron-dome-for-america/>，檢索日期：2025年8月4日。

註37：胡冬冬，〈2019年美國高超音速武器防禦體系建設動向及發展研究〉，《戰術導彈技術》(北京)，2020年1月，頁1。

解算攔截高超音速飛彈資料並傳給各攔截武器，實現對高超音速飛彈的全程偵測、追蹤及引導攔截，系統內建置「太空擊殺評估」(Space-based Kill Assessment, SKA)系統，³⁸可預判飛行器攔截位置，提供給攔截載臺，並完成第二次攔截決策。

2. 空中預警偵測系統：

2020年11月，美國「雷神公司」(Raytheon Company)於「MQ-9型」(Reaper)無人機安裝一款「多光譜瞄準偵測器-B」(Multispectral Targeting Sensor-B, MTS-B)，使該無人機具備高分辨率、多目標追蹤及高精度定位能力，在2020年的「FTX-20」反飛彈試驗中，成功對目標進行追蹤與導引，並配合海基神盾艦成功攔截目標。³⁹

3. 岸置預警偵測系統：

升級岸置「AN/TPY-2雷達」系統能力，此型雷達為X波段主動相位陣列雷達，具偵測距離遠、解析度高、可用大型運輸機空運、公路機動等特性。「AN/TPY-2雷達」偵測和追蹤資料可由「指揮控制、作戰管理與通信系統」(Command, Control, Battle Management and Communications

, C2BMC)傳遞給BMDS，並做為飛彈早期預警雷達，以對高超音速飛彈發射初期升空階段進行偵測、追蹤、威脅分析和落點預測，也是「彈道飛彈防禦系統」中段反飛彈的重要一環，為攔截系統提供更充裕的反應時間。⁴⁰

4. 提升C2BMC系統性能：

「彈道飛彈防禦系統」(BMDS)具備對抗高超音速飛彈的指管、管理與通信功能，並建構天空一體化的通信傳輸網路，以提供可靠、緊密、彈性及低延遲特點的傳輸效能；範圍可覆蓋陸、海、空、太空等空間的全域指揮管制能力。以現有「C2BMC系統」(8.2-5版本)為基礎進行性能提升，整合衛星、UAV及艦岸雷達等偵測器系統的監視、預警、偵測、追蹤、目獲數據，可將偵測與武器系統結合與構聯，讓C2BMC系統具備全域指揮與管制，能全時作戰管理及決策，並將人工智慧導入飛彈防禦演算法、數位追蹤演算法等演算及架構，強化系統應對高超音速飛彈威脅航跡分析及傳輸能力，提高攔截效率。⁴¹

(二) 整合通信系統

由300-500顆衛星組成的數據傳輸系

註38：美國「太空發展局」(SDA)隸屬於國防部，2019年成立，主要任務為應對快速變化的太空領域威脅，並確保美國在太空中的軍事優勢。Wasserbly D., "Space-based Kill Assessment Program Launches Ahead," Jane's International Defense Review(London: Jane's Information Group, 2019), p.6-6。

註39：姜林林，〈基於先進傳感器系統構建的美軍空天預警體系淺析〉，中國國防部高端裝備產業研究中心，2021年9月3日，<https://www.eet-china.com/mp/a73046.html>，檢索日期：2025年7月20日。

註40：同註8，頁45。

註41：劉思彤、張佔月、劉達、楊帥，〈高超音速武器防禦裝備體系發展及頂層思考〉，《世界科技研究與發展》(山西，中國政策科學研究會)，第44卷，第5期，2022年11月3日，頁621~622。

統，目的在將指揮、管制系統與偵測系統、攔截系統相互連結；除應對高超音速飛彈預警、偵測、追蹤、攔截等各階段的數據傳輸、訊息通訊、作戰管制及指揮管理外，亦確保能提供穩定、即時、彈性、低延遲的傳輸效能。美國「太空發展局」(SDA)已計畫分3階段部署衛星數據傳輸系統，首批20顆初始傳輸衛星，已在美國財政年度2022年完成部署，2024年已部署第1批126顆衛星，預於2026年前部署第2批。

三、攔截方案

(一) 提升「薩德系統」(THAAD) 射程

美國「戰區高空防禦系統」(THAAD)飛彈最大攔截速度8.2馬赫，射擊高度40~150公里，最大射距220公里，可對中、遠程彈道飛彈的中段攔截、中短程彈道飛彈的終端攔截，與SM-III、PAC-III系統形成多層攔截體系。⁴²現已將原系統提升為「THAAD-ER」版，攔截距離增加至660公里，射擊高度可增加至150公里。⁴³

(二) 高超音速防禦武器系統(HDWS)

美國「太空發展局」(SDA)於2019年9月，規劃進行「高超音速防禦武器系統」(Hypersonic Defense Regional Glide Phase Weapon System, HDWS)研發合約，其中有2份是針對提升高超音速飛彈攔截

系統能力，第1份針對「愛國者-3增程型」(PAC-III MSE)進行性能提升，使其具備在高超音速飛彈滑翔後段及終端階段進行攔截的能力，第2份是針對「標準-3型飛彈」(SM-III)性能提升，升級版編號「SM-3 HAWK」，使其具備在高超音速飛彈上升段及進入滑翔段前進行攔截的能力。

(三) 提升標準-6型(SM-VI)飛彈性能

美國海軍2024年完成「標準6型」(Standard Missile-VI, SM-VI)IB型飛彈研發，將射程增加到560~800公里，射高也大幅提高，速度可達高超音速水準，相較前一代「SM-VI IA型」飛彈，其可在彈道飛彈終端飛行階段攔截能力，「IB型彈」也新增在高超音速飛彈滑翔段(中段攔截)進行攔截的能力，彌補SM-III及SM-VI IA型飛彈攔截區段空隙。

(四) 研發滑翔段攔截器(GPI)

美國SDA在2021年2月公布「滑翔段攔截器」(Glide Phase Interceptor, GPI)項目，除對現有各型攔截器性能提升外，研發中的新型(GPI)，規劃由神盾級艦的「MK-41」垂直發射系統發射，2022年9月已完成武器構想方案，並進入細部規劃階段，⁴⁴後續將進入研製、發射試驗、作戰能力測試與評估及部署等階段。

註42：張昊，〈高超音速武器作戰樣式及防禦對策分析〉，《世界科技研究與發展》(四川，中國政策科學研究會)，2019年4月，第39期，頁20~26。

註43：同註30，頁46。

註44：同註41，頁623~624。

綜上所述，新一代「彈道飛彈防禦系統」(BMDS)的目標是全面防禦針對美國本土的各類空中威脅(包含高超音速飛彈)，試圖建立一個覆蓋更廣、反應更快的國土防禦網，藉此提升對未來潛在攻擊的應對能力，以強化美國國家安全，⁴⁵此一發展值得國人持續關注。

伍、結語

高超音速飛彈能突破對手飛彈防禦系統，攻擊關鍵節點、降低對手作戰能力，而中共發展及部署高超音速導彈主要目的在貫徹「區域拒止/反介入」(A2/AD)作為、阻撓第三方勢力支援臺海作戰，⁴⁶並運用高超音速導彈突防能力，優先癱瘓對手防空能力，再搭配各類導彈或火箭攻擊，以擴大及鞏固戰果。故純粹就考量高超音速導彈的戰術運用，其使用於對臺海作戰的可能性較低，若兩岸戰事長期化、或我軍獲得先進反飛彈或彈道飛彈能力、或在第三方勢力積極介入支援、或「中」方在一般導彈無法獲取有效打擊成效，以及中共急需獲取關鍵性戰果情況下，仍不排除會將高超音速導彈直接投入對臺作戰之可能性。然兩岸相距僅300公里，以5馬赫

(6,174公里/每小時)速度飛行的飛彈，僅約3分鐘即可穿越，傳統的反制措施恐將完全無法有效因應。

透過剖析高超音導彈特性、運用方式及防禦系統，可提供我國未來運用與防範高超音速導彈之借鏡。再者，美方當前規劃的「金穹」系統，主要包括太空衛星、各型偵蒐器及攔截武器等新建或性能提升，同時規劃投入250億美元(折合約新臺幣7,348億元)的預算進行研發與相關建置費用，並邀請日本共同參與研製。⁴⁷咸信過程中龐大的費用確非我國國防經費所能負擔，故現階段僅能提升既有「PAC-III」及「天弓-3、4型」飛彈性能，做為在終端飛行階段前攔截高超音速飛彈之用；甚或有機會投入經費，參與與美國共同研發，進而獲取相關技術，再反饋提升我國防空系統，亦為我政府現階段可能的思考方向，落實防衛國家安全。 ㊦

作者簡介：

許祐銓中校，海軍軍官學校93年班，國防大學海軍指揮參謀學院112年班。曾任駐韓國軍事協助組副組長、海軍司令部計畫處外連官、海軍司令部戰訓處作戰官，現服務於國防大學海軍指揮參謀學院。

註45：周若敏，〈從「金穹」系統看川普的太空政策與發展〉，《國防安全雙週報》(臺北市，財團法人國防安全研究院)，第86期，2025年5月8日，頁41。

註46：陳修逸，〈中共「高超音速導彈」對我防衛作戰之威脅與影響〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第58卷，第6期，2024年12月1日，頁85。

註47：Sandra Erwin, "Armed Services Committees Propose \$150 Billion Funding Boost for Defense," SPACENEWS, April 27 2025, <https://spacenews.com/armed-services-committees-propose-150-billion-funding-boost-for-defense>, 檢索日期：2025年8月5日。