

淺析快速發展中的極音速飛彈

徐雍 博士、劉書麟 先生

提要：

- 一、近年來，飛彈技術以及其所對應之防禦技術的發展突飛猛進，使得傳統彈道飛彈和巡弋飛彈面臨越來越大的突防壓力。世界各國的飛彈研究，包含彈頭殺傷機制、精確導引與預警偵測等前沿技術皆與日俱進，連帶使飛彈綜合性能大幅提升。
- 二、進入21世紀後，極音速飛彈的正式服役，使俄羅斯、中共與美國之間的軍事角力逐漸白熱化，俄羅斯與中共相繼提出經試驗且實用的極音速飛彈，使得以世界軍武龍頭自居的美國備受壓力。極音速飛彈克服了傳統飛彈的弱點，亦顛覆了原本飛彈的特性，使現役各型防空飛彈均望塵莫及。
- 三、現階段所有的防空系統，皆無法保證可有效攔截極音速飛彈，因此世界各國對於該彈的防禦策略也各有所不同。國軍幹部應持續關注極音速飛彈的作戰與防禦策略，俾做為未來規劃國家整體飛彈防禦網之參考與運用。

關鍵詞：極音速飛彈、東風17、機動變軌

壹、前言

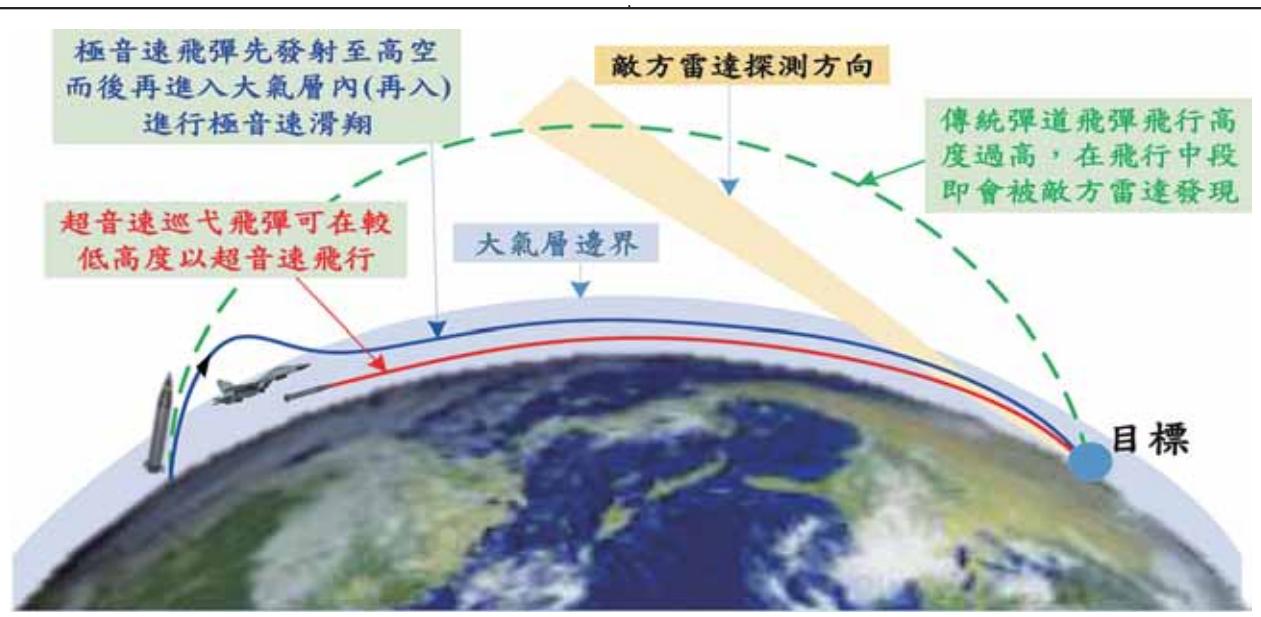
從飛彈問世後，歷經多年的革新歷史與發展過程，在科技進步推動及戰略需求不斷演化¹，每一代飛彈的性能提升，都造成戰爭型態的重大變革。極音速飛彈的概念克服了傳統彈道與巡弋飛彈的弱點²，具有更遠的射程、更高的彈速，可快速打擊遠程目標，且具有飄忽不定無法預測的彈道軌跡³

，這些特性使得現役先進防空武器系統望塵莫及，亦扭轉了未來戰爭型態。尤其進入21世紀，極音速飛彈的問世正打破世界軍事平衡的狀態，當俄羅斯的「先鋒」、「匕首」和「鋸石」與中國大陸「東風17」飛彈相繼發表後，使得以世界軍武龍頭自居的美國，正面臨巨大的壓力；儘管目前美國、日本、印度與英、法等國皆有相關武器的發展進行中，然尚處於測試驗證階段，形成明顯落後

註1：陳萱等，〈世界導彈發展脈絡與趨勢〉，《現代軍事》(北京)，2017年10月5日，頁61-65。

註2：殷杰，〈高超聲速武器，到底難在哪？〉，《世界軍事》，第17期，新華社解放軍分社，2019年9月，頁91-94。

註3：草莽，〈天下武功 唯快不破？--導彈技術專家湯志成談高超音速導彈的攻與防〉，《現代兵器》(北京)，2020年1月2日，頁48-63。



圖一：極音速飛彈與傳統彈道飛彈、巡弋飛彈的概略彈道比較圖

資料來源：由作者自行綜整繪製。

的態勢，也造成軍威嚇龍頭的美國，「坐立難安」⁴。

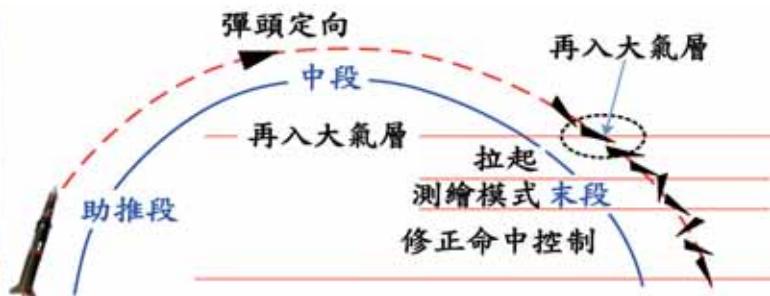
撰寫本文主要的目的，除了介紹極音速飛彈的發展緣起與特性外，並針對俄羅斯、中共及美國等國家的發展概況進行介紹，也分析未來極音速飛彈發展趨勢。另一方面，鑑於中共對該項武器仍在不斷研發改良，我國「國家中山科學研究院」（以下稱，中科院）現已將該武器納入未來威脅，並努力研究反制裝備；儘管我國面臨的飛彈威脅從未緩解，國軍仍應瞭解世界先進國家在尖端武器研發的最新進度，謹慎規劃國家整體飛彈防禦網路，進一步強化空防準備，亦期許中科院繼續與國軍密切合作，共同攜手確保國家安全。

貳、極音速飛彈介紹

邁入21世紀，隨著俄羅斯與中共相繼發表不同型態與特性的極音速飛彈，並已打破了世界的軍事平衡，進入了飛彈攻防的新戰國時代。極音速飛彈不能被視為傳統彈道或巡弋飛彈的改進構型（三種飛彈概略彈道比較，如圖一），而是一種有效結合高空、高速與機動等飛行技術特徵的全新攻擊型武器⁵。其基本定義是指飛行高度在20-40公里，彈速超過5馬赫的飛彈，而現役戰術彈道飛彈一般射程約500-600公里，其彈速都在6馬赫左右；然與傳統飛彈最大不同點在於發射至高空後，該型飛彈會重返大氣層邊界（以下簡稱「再入」）進行高超音速滑翔飛行，

註4：熊瑛等，〈美國全球一體化反導系統發展分析〉，《戰術導彈技術》（北京），第3期，2017年，頁8-12。

註5：易建平，〈新一輪高超聲速武器競賽來臨？〉，《國際航空》（北京），2017年3月15日，頁10-12。



圖二：美國潘興II中程飛彈及彈道軌跡

資料來源：參考〈Pershing II missiles〉，維基百科[https://en.wikipedia.org/wiki/Pershing_missile_launches#/media/File:Pershing_II_missiles_\(single_stage_versions\)_at_McGregor_Range.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Pershing_missile_launches#/media/File:Pershing_II_missiles_(single_stage_versions)_at_McGregor_Range.jpg)，檢索日期：2020年5月26日，由作者綜整繪圖。

此階段飛彈具有機動變軌且彈道難以預測的特性，使敵方搜索雷達無法即時偵蒐與追蹤，大幅壓縮敵方反飛彈系統的反應時間。

極音速飛彈的服役，使得目前大部分現役的防空飛彈系統相形見绌，因為其具有高彈速、低空巡航飛行以及靈活機動變軌特性，舉凡現役效能優異的標準三型(SM-3)、薩德(THAAD)與愛國者三型(PAC-3)等防空飛彈，均無法有效的進行攔截。以下將就極音速飛彈的緣起、難以防禦的原因，以及可能的攻擊彈道與模式，逐項說明如後：

一、發展緣起

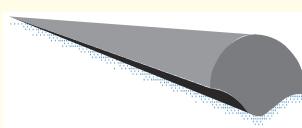
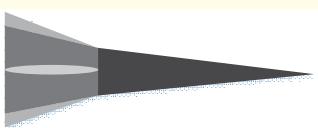
(一)傳統彈道飛彈的高彈速，極大的壓縮了防空系統的反應時間和增加攔截難度，但其與巡弋飛彈的飛行軌跡均較為單純、路線極易預測，也降低搜索和攔截的難度。以彈道飛彈為例，其彈道軌跡為拋物線，飛行高度高，極易被搜索雷達偵測，且易於預判其彈道軌跡，只需把攔截彈引導至預定攔截點即可。高彈速本是彈道飛彈突防的絕招，但只靠速度突防的彈道飛彈終究是要逐漸被

淘汰，因此飛彈必須具備其他特性以增加其攻擊效益⁶。

(二)自1960年起，美、蘇等國針對上述飛彈缺失精進改良，使其具備機動能力。此階段飛彈可利用氣動升力，達到數百公里的橫向機動飛行，飛行軌跡難以預測，使防空系統難以進行攔截。惟飛彈在長距離的滑翔飛行後，由於彈速降低，當進入防空系統的防禦範圍，很可能被輕易攔截(彈道軌跡，如圖二)。此外，飛彈再入的機動特性會降低命中率，而為提高精度，會在彈頭增加末端導引系統，造成整體重量的增加；因此，再入機動攻擊的機制並沒有被廣泛使用於飛彈上，較廣為人知的僅美國的「潘興II型」中程飛彈(Pershing II Weapon System，以下稱「潘興II型」飛彈)。該型飛彈機動變軌和末端導引功能，都會使彈速急遽下降，若不做任何機動飛行，當以拋物線彈道落地，彈速約7馬赫，然彈頭在40公里高度拉起減速後，最終的彈速僅約3.5馬赫；此外，彈頭會在約15公里高空進行圓錐式機動飛行

註6：張雪松，〈導彈突防技術再創新 驚豔世界的“東風”17〉，《艦船知識》，第12期，艦船知識雜誌社，2019年12月，頁27-32。

表一：極音速飛行器的基本構型與特色諸元表

構型	乘波體	錐裙翼	翼身融合
示意圖			
彈體結構 特色	<ul style="list-style-type: none"> 此構型所有前緣都具有附體激波，飛行時，其前緣平面與激波上表面重疊，依靠激波的壓力來產生升力。 最常見、發展門檻較高、升阻比較高、利用激波升力滑翔飛行、可選擇搭配超燃發動機。 	<ul style="list-style-type: none"> 亦可稱為錐形體，其構型為在三維空間中，由旋轉曲面與底截面圍成的構型。發展門檻較低、升阻比較低。 發展門檻較低、升阻比較低。 	<ul style="list-style-type: none"> 全機身和機翼融合為一體來產生氣動升力，機身的氣動外型可產生一定升力，此構型較適合小型飛行器的設計。 發展門檻高、升阻比高、可選擇是否搭配超燃發動機。
飛行特色	彈速高、易於橫向機動變軌。	彈速約10馬赫以下、易於縱、橫向機動變軌、機動力極高。	彈速高、易於橫向機動變軌。

資料來源：參考趙鵬飛等，〈高超聲速飛行器關鍵技術發展分析〉，《飛彈導航》，第10期，海鷹科技情報研究所，2017年，頁37-44；劉薇等，〈國外高超聲速飛行器發展歷程綜述〉，《飛彈導航》，第3期，海鷹科技情報研究所，2020年，頁20-27，由作者綜整製表。

，讓終端導引雷達獲取地形影像進行比對（測繪模式），並根據掃描時間和機動情況的不同，落地彈速可能降到約1馬赫。由此可知，飛彈即使具備了再入滑翔和機動能力，但受限於傳統滑翔彈頭的升阻比和導引方式，要突破敵防空系統仍顯吃力。

（三）鑑於上述飛彈所面臨的突防困境，以及再入機動變軌，導致彈速降低的問題，現今軍事科學家利用中國大陸飛彈專家錢學森所提出的「助推一滑翔」彈道的構想（通稱「錢學森彈道」）⁷，掀開極音速飛彈新的扉頁。「錢學森彈道」的核心係透過大氣層內的高空高速滑翔，以速度換取遠距離航程，此思維充分提高飛彈突防能力。以射程5,000公里左右級別的飛彈為例，傳統彈道飛彈的彈道高度超過1,000公里，在距離目標數千公里外就能被長程預警雷達追蹤監視

；若以「錢學森彈道」為基礎的極音速飛彈，其滑翔飛行的彈道高約40公里，一般長程預警雷達偵測距離可能只有850公里左右；較低的彈道高度，不僅壓縮雷達偵測距離，也大幅提升飛彈突防能力。而俄羅斯在21世紀初，即首先研製成功包含「先鋒」、「匕首」與「鋯石」等數種極音速飛彈；中共則於2019年的國慶閱兵中，展示自主研製的「東風17」，之後美國、印度及日本等也相繼開啟是項武器的研發。

二、極音速飛彈的關鍵設計與彈道軌跡

（一）關鍵設計

1. 極音速飛彈彈道特點為助推器會將飛彈推出大氣層，到達頂點後開始下降並拋棄彈頭外罩，彈頭會下降至大氣層邊界⁸（又稱為臨近空間，指大氣層和外太空之間的空域，亦為現有飛機的最高飛行高度和衛星的最

註7：戴安石，〈高超音速滑翔武器 東風17〉，《軍事家》（臺灣），2020年1月，頁65-71。

註8：同註2。

低軌道高度之間的空域⁹)，離地大約20至100公里。在此高度範圍內，利用彈頭本體結構所產生的激波升力，使飛行軌跡發生飄移的劇烈變化，敵方搜索雷達不易發現；且由於該處的大氣密度非常稀薄，飛彈機動變軌滑翔的速度可以輕易地突破5馬赫(參考圖一，藍色軌跡)，此彈道相較於傳統彈道飛彈更低。當敵方雷達搜索到飛彈時，反應時間極短，當彈頭接近目標上空時，會再急遽改變軌跡，並以近乎垂直的大角度俯衝攻擊目標，致使一般防禦系統根本難以招架。

2. 極音速飛彈幾乎完全顛覆傳統的氣動飛行理論，飛行器的主要升力來自於飛行時附著於彈頭的激波壓力差¹⁰。其外型為了能夠騎乘於激波上¹¹，以常見的乘波體構型為例(一般常用構型，如表一)，在極音速飛行時，就像騎在激波的波面上，依靠激波的壓力產生升力(即激波升力)，此構型有較高的升阻比和較強的機動性，有利於飛彈突防；乘波體的下表面為高壓區，通常設計為發動機進氣口，可結合構型降低進氣口阻力。

(二) 彈道軌跡

1. 極音速飛彈主要特點包含射程遠、速度快、彈道飄忽不定、無法預測，攔截武器難以發揮作用；因此，該型飛彈對於推進技

術、結構材料、氣動力和飛行控制等各項關鍵技術，都具有非常高的門檻¹²。在外觀與材料設計方面，因彈頭設計與研發相當困難，主要係在極音速下飛行，結構體必須承受強烈的氣熱(高溫可達1,500°C)；當速度達到10馬赫時，飛行器表面會產生融化反應¹³，故彈頭材料性能的要求非常的高。再者，彈頭的乘波體構型並不規則，飛行時的周邊高速氣流分布不均，對姿態十分敏感，且飛行時彈頭處於高溫、高壓狀態，會產生熱脹冷縮，造成一定量的形變，進而改變氣動特性與溫度分布，一旦姿態超過一定範圍，很容易失控或燒蝕解體。

2. 國際間，將5馬赫做為界定極音速飛彈的下限。而「助推－滑翔」的彈道為極音速彈頭的基本特性，但若要具有大範圍機動變軌，彈頭需要搭配發動機使用；因為臨近空間的空氣稀薄，傳統飛彈的「渦輪噴射」發動機，其噴氣速度小於飛行速度，效率低。而固體火箭發動機則是體積龐大，嚴重影響機動性能，亦不能滿足極音速彈頭的需求¹⁴，現今僅有「超音速燃燒衝壓發動機」(Supersonic Combustion Ramjet，以下稱「超燃發動機」)可以符合要求門檻。超燃發動機係自外界吸取空氣來運作，和火箭發

註9：楊光等，〈高超聲速飛行器對戰場環境的影響〉，《飛航導彈》(中共)，第3期，2020年3月，頁28-32。

註10：耿雅茹等，〈首型高超聲速巡航導彈“鋸石”面面觀〉，《世界軍事》，第18期，新華社解放軍分社，2018年9月，頁92-96。

註11：舉例而言，船能在空氣和海水之間的介面上航行，是因為空氣和水之間存在密度差，激波其實就是這個介面，由於彈體往下壓(如船之重力向下)，造成彈體下方的氣壓遠大於彈體上方，因此可以乘載彈體；換言之，彈體的下方像水，彈體的上方像空氣，彈體像船隻行駛於兩個介面間。

註12：同註2。

註13：王康等，〈俄羅斯先鋒高超聲速巡航導彈主要特點及啟示〉，《飛航導彈》，第9期，海鷹科技情報研究所，2018年9月，頁27-30。

註14：同註10。

動機相較，在消耗相同質量推進劑下，可以產生4倍的動力；當使用碳氫燃料時，更可使彈頭在臨近空間加速至5-8馬赫，如若使用液氫燃料時，彈速又會更快。然液氫燃料雖較碳氫燃料具有較大的衝力，但因密度不同，在同一體積中碳氫燃料可裝載量較多；因此，目前極音速推進技術研究，主要著重於使用碳氫燃料的超燃發動機。

參、世界各國極音速飛彈發展現況

鑑於世界各先進國家均競相發展極音速飛彈，該武器已成為未來軍事攻防的必然趨勢，其中俄羅斯和中共則為領頭羊。俄羅斯三款不同規格與特色的極音速飛彈，涵蓋海、陸、空發射，射程可長達6,000公里，並於2019年陸續開始服役部署；而中共則於2019年10月閱兵展示自製研發的「東風17」極音速飛彈，預計2020年正式服役部署。美國海、陸、空三軍雖以多種技術同步進行研發，醞釀的發展潛能龐大；然礙於技術瓶頸限制，現仍處於測試階段。至於日本、印度、英國、法國、澳洲、挪威等國，近幾年也開始進行是項武器的研發，如印度和俄羅斯共同合作研發；日、澳與挪威則個別與美國合作；法國也是歐洲第一個獨立研發的國家，這些國家的研發皆未達成熟階段，距離實際服役部署仍有一段艱辛、漫長之路。

礙於新科技發展及公開資料蒐集限制，以下謹就極音速飛彈資料最為豐富的俄羅斯

、對我威脅最大的中共，以及各種技術皆有研發，惟仍未有可實際服役部署成果的美國，進行概略分析說明。

一、俄羅斯

近年來，美國發展出了陸、海、空等多基平臺、中段與末段等多層次、動能與雷射等多手段的反飛彈武器系統，並不斷嘗試在天基(指外太空)搭建飛彈攔截平臺，以及提升主動段(加速階段)的攔截技術。另為制約俄羅斯的飛彈，美國分別在韓國、日本、羅馬尼亞、波蘭等國家部署了反飛彈系統，迫使俄國的飛彈生存能力和突防能力受到嚴峻的考驗。因此，俄羅斯迫切的需要一個突破口來扭轉局面¹⁵，於是2018和2019年三種已完成研製、測試，並於2020年前正式服役的「先鋒」、「匕首」和「皓石」極音速飛彈分別曝光，個別適用不同發射平臺。逐項介紹如下：

(一) 「先鋒」戰略飛彈(彈號為Yu-71或4202項目，以下稱「先鋒」)

1. 為世界上首款極音速飛彈，是以洲際彈道飛彈做為運載工具的極音速助推滑翔彈頭¹⁶，兼具戰略作戰、中遠程打擊、飽和攻擊、機動變軌及抗雷射攻擊能力。從官方發布的試射影片和相關資料推測，長度約為4-5公尺、重量約為0.7-0.8公噸，命中精度可達5-10公尺¹⁷；可根據任務的不同，採用核子或常規彈頭(如表二)。

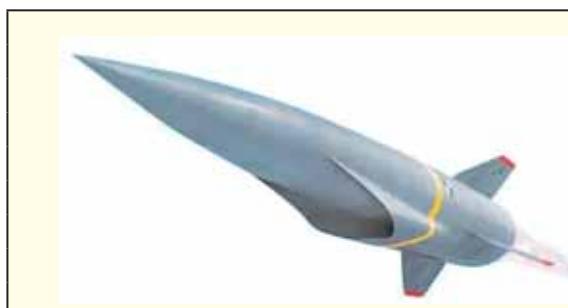
2. 目前，由1979年即裝配於部隊的UR-

註15：張耀等，〈俄新型高超聲速導彈技術性能綜術與分析〉，《飛航導彈》，第2期，海鷹科技情報研究所，2019年2月，頁30-33。

註16：李梅等，〈絕對武器 俄羅斯“先鋒”高超聲速助推滑翔彈頭〉，《兵器知識》(北京)，第12期，2018年12月，頁61-65。

註17：同註16。

表二：俄羅斯「先鋒」極音速飛彈性能諸元表



飛彈類型	巡弋飛彈彈頭/滑翔助推
發射型態	陸基(搭載於洲際飛彈)
彈頭殺傷方式	動能殺傷(常規彈頭/核彈頭)
彈長、彈徑	(彈頭) 4-5公尺、---公尺
彈重	(彈頭) 700-800公斤
命中精度	5-10公尺
彈速	20-27馬赫
射程	2,000-6,000公里
屬乘波體構型，使用核能為動力。	

資料來源：參考〈東風17 刃鑽極速的決殺飛彈〉，巴西華人資訊網，2019年7月4日，<https://brazilhr.com/?p=421165>，檢索日期：2020年7月26日，由作者綜整製表。

100N UTTKH(即SS-19短劍)洲際彈道飛彈搭載「先鋒」彈，主要係因蘇聯解體後，從烏克蘭接收數量剩約30枚，未來可能改搭載於「邊界」(Rubezh，RS-26)和「薩爾瑪特」(Sarmat，RS-28)這兩款洲際彈道飛彈上，以繼續發揮其效力¹⁸。每枚搭載彈可乘載多枚的「先鋒」彈頭，或是換裝成更多枚誘餌彈頭¹⁹，飛行過程中「先鋒」可依序、或一次性發射數枚，每枚「先鋒」都有不同的彈道和獨特的變軌能力，增加反飛彈系統的攔截難度²⁰。

3. 「先鋒」彈採彈翼一體設計，彈頭為有翼乘波體，並在尾部安裝4片與彈體成45度角的小型尾翼，用於調控水平與垂直方向飛行姿態的氣控舵²¹，可在空氣稀薄的高度，沿著平坦軌跡滑翔機動。滑翔階段靠彈翼和火箭發動機制動²²，速度可達20馬赫以上，彈頭表面溫度會因氣動加熱而上升至1,600°C以上；因此，彈頭採全新的複合材

料(鈦合金或碳纖維)及特殊設計的氣動外型，可在嚴苛條件下保持結構和性能的穩定。

4. 該彈滑翔的高度介於20-30公里高空，因空氣較稀薄，飛行的氣動加熱效應形成的氣體阻隔層(等離子層)不會太稠密，可持續接收衛星的導引訊號；此外，因為此一高度上還有足夠的大氣，可提供彈翼產生升力和空氣舵的制動力²³。滑翔階段的彈速維持20馬赫以上，距目標20-50公里時，會調整飛行姿態再入大氣層，此時彈速約為14-15馬赫。再入段的飛行控制是靠彈翼，透過滾轉(Rolling)、橫搖(Pitching)和縱傾(Yawing)，控制大氣層飛行過程的機動力。

5. 「先鋒」使用核能動力。俄羅斯在克服核動力裝置的散熱、輻射及小型化問題後，成功的將一座小型核電站轉置到該彈頭上，利用可控核反應來獲得飛行時所需的能量，透過快速加熱空氣形成高溫噴流，使彈頭高速運動，實現真正的長時巡航待機；並突

註18：宋心榮，〈俄羅斯“先鋒”高超音速導彈系統〉，《現代兵器》(北京)，2019年5月，頁36-41。

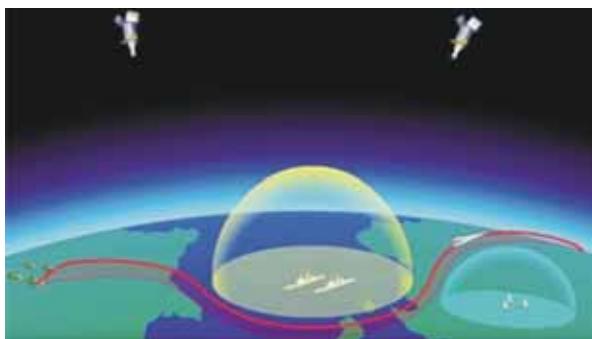
註19：王春生等，〈俄“先鋒”飛彈，拿什麼震懾美國？〉，《世界軍事》，第4期，新華社解放軍分社，2019年2月15日，頁87-91。

註20：同註19。

註21：同註19。

註22：同註18。

註23：同註18。



圖三：「先鋒」極音速彈頭攻擊示意圖

資料來源：〈“先鋒”導彈會打破美俄平衡嗎〉，人民網科技日報，2019年1月23日，<http://military.people.com.cn/n1/2019/0123/c1011-30586895.html>，檢索日期：2020年7月26日。

破飛彈射程問題，同時具有中段加速與變軌的能力。據估算，以20馬赫為基準，該彈能在20分鐘內從俄羅斯境內到達華盛頓特區；另因彈頭與彈體的分離時間遠在飛彈發射後，其接近目標所需的時間更短，也意味著敵方無法判斷威脅來向，更難利用飛彈防禦系統進行攔截²⁴。

6. 2018年12月26日，試射的「先鋒」全程都在改變航向和高度，研判其飛行軌跡第一階段由洲際彈道飛彈發射升空至80-100公里高空，速度約達到17馬赫以上，此時彈頭與飛彈脫離，並以一定的俯衝角度降低高度，在大氣密度較高的高空轉入滑翔狀態。第二階段保持巡航平飛；第三階段，依照既定的飛行航跡，啟動彈載發動機在30-60公里

高空進行巡弋，並逐漸接近目標區；最後在距離目標高度約30公里時啟動尋標導引，向目標俯衝攻擊²⁵。推估「先鋒」是採用慣性導引與衛星導航等複合技術，從衛星獲取戰場訊息、調整飛行路徑，末段攻擊時可能採用主(被)動雷達、紅外線成像導引等方式²⁶，從任意方向和不同高度接近目標。橫向機動可達500公里以上，足以避開美國部署在海上和本土的多層反飛彈攔截系統²⁷，達到快速、隱蔽、突防的效果(如圖三)。

7. 「先鋒」彈能突破目前世界上所有的防空和反飛彈系統，更是對美國退出「中程核飛彈彈道條約(Intermediate-Range Nuclear Force Treaty, INF，簡稱中導條約)」²⁸的應對手段，同時是項武器系統可能是「絕對武器」，近期不會有任何一個國家擁有同類型的武器²⁹。「先鋒」幾乎集結俄羅斯現階段全部的反飛彈突防技術，成為該國「全球快速打擊系統」的重要支撐，更是美國戰略反飛彈系統的最大剋星³⁰。

(二)「鎚石」極音速攻船飛彈(代號為「3M22」，以下稱「鎚石」)

1. 為世界首款極音速攻船飛彈，在2016至2017年進行過3次飛試；預於2020年部署於水面艦艇與潛艇部隊³¹。從外型和規格分析，該彈是包含巡航與助推滑翔動力型式的

註24：謹媛，〈俄羅斯實現突圍的殺手？〉，《航空知識》(北京)，第1期，2020年1月，頁38-41。

註25：李文盛，〈神秘的“先鋒”俄新型高超導彈性能及部署〉，《艦船知識》，第3期，艦船知識雜誌社，2019年2月，頁85-89。

註26：同註25。

註27：同註25。

註28：楊宗新，〈「中程飛彈條約」失效對國際戰略格局之衝擊〉，《海軍學術雙月刊》，第54卷，第1期，2020年2月1日，頁83-95。

註29：同註16。

註30：同註19。

註31：同註10。

表三：俄羅斯「鋗石」極音速飛彈性能諸元表。



飛彈類型	巡弋攻船飛彈(乘波體構型)
發射型態	陸海空(艦艇與潛艇)
彈頭殺傷方式	動能殺傷
彈長、彈徑	8-10公尺、0.6-1公尺
彈重	300公斤
命中精度	--
彈速	6-8馬赫
射程	1,000公里

資料來源：參考江飛宇，〈俄羅斯首試鋗石飛彈 飛行超過500公里〉，中時電子報，2020年3月2日，<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20200302004795-260417?chdtv>，檢索日期：2020年7月26日，由作者綜整製表。

極音速飛彈³²，與美國極音速飛行器「X-51A」的相似度近九成；卻與2013年俄羅斯及印度宣布聯合研發的「布拉莫斯-2巡弋飛彈」相似度高達九成九。彈長約8-10公尺，整體呈圓柱形，彈直徑約0.6-1公尺，結構採兩節設計，第一節為固體火箭發動機(約3-4公尺)；第二級為超燃發動機(約5-6公尺)，外形屬乘波體構型，彈重300公斤，最大彈速約8馬赫³³，最大射程約1,000公里³⁴(如表三)。依數據顯示，同樣在60公里外發動攻擊，艦艇對美軍「魚叉」(Harpoon，AGM-84)的反應時間約180秒，對「鋗石」卻不到30秒，意味著目標尚未反應時，已經被擊中³⁵。

2. 該彈在末段飛行不僅有極音速的優勢，且受地球曲度影響，艦載雷達對海平面高度的目標(包括水面艦和超低空飛行的飛機

、飛彈等)偵測距離約40公里，因此美軍水面艦艇的防空武器系統能攔截的時間更短，致攔截率大幅降低³⁶。然受制於縮小的彈頭和氣動外型設計的限制，其彈頭的裝藥量較小，主要係依靠動能殺傷。從測試數據看，當以6馬赫的末段速度進行攻擊時，可以貫穿50公尺厚的土層³⁷。

3. 系統由飛彈、發射筒(架)與發射平臺三部分組成，可由陸基、海基(艦射與潛射)與空基通用平臺發射。發射後，第一節固體火箭將彈速推升至5馬赫以上後分離，第二節超燃發動機點火並保持全程極音速，巡航高度在40公里的大氣層內。飛彈採慣性導引、無線電測高、主動雷達與光電偵察的複合導引技術，可依圖像比對和電磁頻譜匹配的方式自動尋標，打擊移動性的目標。與其

註32：郭冠宇等，〈俄羅斯鋗石高超聲速導彈發展分析〉，《飛航導彈》，第11期，海鷹科技情報研究所，2019年11月，頁31-33。

註33：同註10。

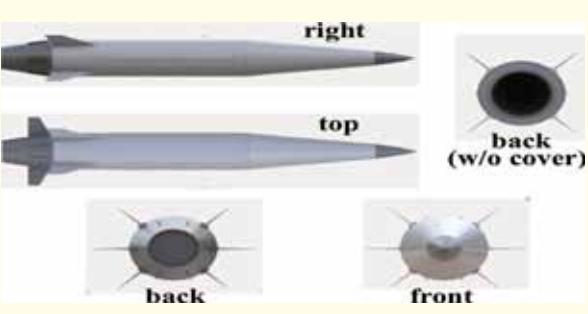
註34：同註32。

註35：雷士，〈威脅美軍航艦的高速殺手 俄製「鋗石」高超音速反艦飛彈〉，《亞太防務雜誌》，第116期，2017年12月，頁71-73。

註36：姜永偉，〈為美海軍支招？俄軍事專家談如何防範“鋗石”〉，《艦船知識》，第3期，艦船知識雜誌社，2020年2月，頁40-43。

註37：孟二龍等，〈俄羅斯鋗石高超聲速智能反艦導彈主要優勢及啟示〉，《飛航導彈》，第11期，海鷹科技情報研究所，2019年11月，頁34-38。)

表四：俄羅斯「匕首」極音速飛彈性能諸元表



飛彈類型	彈道飛彈
發射型態	空基(搭載於米格-31BM)
彈頭殺傷方式	動能殺傷
彈長、彈徑	7.7公尺、1公尺
彈重	全彈5噸(彈頭800公斤)
命中精度	1-30公尺
彈速	10馬赫
射程	2,000公里
錐裙翼構型，只能在垂直面進行機動變軌	

資料來源：參考〈Kh-47M2 Kinzhal Missile 3D模型〉，<https://free3d.com/3d-model/hypersonic-missile-765.html>，檢索日期：2020年7月27日，由作者綜整製表。

他攻船飛彈相比，「鋗石」的雷達反射面積(RCS)非常小，因此具很強的隱蔽性，搭配高彈速，使現役反飛彈系統雷達都難以追蹤、鎖定。

4. 該彈較傳統飛彈有「快而靈」、「快而準」、「快而強」三大優勢：

(1)「快而靈」－相較於亞音速飛彈而言，具有速度優勢，且飛行彈道及導引方式靈活，氣動控制系統可透過程式或是遙控指令隨時改變飛行路線。在大氣層內進行5-8馬赫的飛行，反飛彈系統因無法及時預測彈道，即無力進行攔截。

(2)「快而準」－對彈道飛彈而言，其具備中程飛彈的速度及根據預設程序操控飛行的抗干擾優勢，且彈體仍可接收外部飛控指令，進行精確導引，跟蹤並打擊移動目標。

(3)「快而強」－由武器貫穿力計算，彈頭速度越快，貫穿力越大(貫穿力與彈頭速度的平方成正比)，在相同彈重下，該彈最大速度8馬赫，貫穿力高達64倍。根據美

國卡內基和平基金會(Carnegie Endowment for International Peace)核安全項目專家推算，「鋗石」可貫穿20公尺厚的混凝土，若直接命中目標，等於實現冷戰時期蘇聯軍隊「一彈一艦」的毀傷效果³⁸。即使被近迫防禦武器系統攔截，其殘骸仍將攜帶巨大的動能重創目標³⁹。

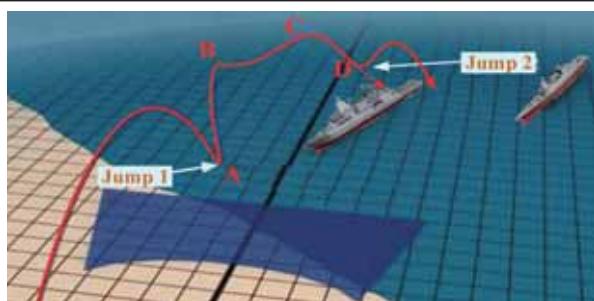
5. 「鋗石」將列裝於最新型的「SU-57」隱形戰機與「哈斯基級」(Husky class)多功能核潛艦，攜帶「鋗石」的SU-57作戰半徑將超過1,500公里，而哈斯基級艦攜彈量可達80枚。當機、艦結合時，不僅大幅提高作戰半徑，也將會是航艦戰鬥群的夢魘⁴⁰。另「鋗石」具備極強的發射適應性，據情資顯示，連俄羅斯海軍小型護衛艦也能安裝此系統，這表示不只大部分軍艦，連小型砲艇都具有發射該型彈的能力，屆時即使是一艘小型護衛艦，也可能成為航艦戰鬥群的終結者。

(三)「匕首」極音速飛彈(代號Kh-47)

註38：同註10。

註39：同註35。

註40：同註10。



圖四：俄羅斯「匕首」極音速彈頭攻擊軌跡示意圖

說明：「匕首」在飛行末段(A)利用飛彈發射器的推力和航空動力脫離彈道軌道，並大角度拉高後(B)實施類似巡弋飛彈彈道的極音速飛行，至目標上空時(C)，開始大角度俯衝攻擊，甚至可進行二次拉高(D)，再俯衝攻擊。

資料來源：參考〈中共東風反航母彈道導彈不再孤單，普京親自發布同類導彈〉，貞觀防務，2018年3月4日，<https://www.twoeggz.com/news/7441658.html>，檢索日期：2020年7月28日，由作者綜整製圖。

M2，以下稱「匕首」)⁴¹

1. 根據俄國專家分析，「匕首」已於2017年底完成試射，具備實戰能力，主要用於對付美軍航艦戰鬥群，目前部署於俄羅斯西部、南部與東部及濱海軍區⁴²。該彈(如表四)具有迴避任何現役反飛彈系統的能力，可對固定目標以及航艦戰鬥群艦艇，實施精準打擊。彈頭可依任務需要攜帶常規或核彈頭。彈頭導引採複合導引技術，包含圖像匹配(目標識別)與雷達導引，前者利用彈載光學鏡頭搜索目標，並與內建記憶體目標進行比對，因此可精確打擊；且後者可搜索追蹤雷達反射定位訊號，用於打擊艦船，目前搭載於俄羅斯「米格-31BM」戰機⁴³。

2. 根據專家分析推測，該彈長約7.7公

尺，翼展小於0.5公尺⁴⁴，彈頭約800公斤，呈現修長的錐裙翼構型，彈速10馬赫以上，射程約2,000公里。攻擊彈道模式是戰機在高空中加速到特定速度後釋放，飛彈脫離戰機即按彈道軌跡飛行後，立即大仰角爬升，之後開始急遽俯衝加速到10馬赫以上，以累積足夠的動能；另為避開防空反飛彈系統的攔截，會在目標區上空進行多次複雜的機動變軌飛行(如圖四)，以保障飛彈的生存力及突防效率，同時可修正軌道、提升打擊精度(約1-30公尺)。

3. 該彈是一款採用火箭發動機的空射型彈道飛彈，具有高彈速、大威力、突防能力強的優點，而2,000公里的長射程、高達10馬赫的彈速，係因自身優異的性能及米格-31BM的加持。搭載於戰機上縮短該彈在助推段的飛行時間，節省發動機在升空過程的燃料消耗，使其在中、末段飛行過程中持續提供動力、增加射程。此外，米格-31BM是目前世界上先進的現役戰機，可從20公里升至30公里高空以上，速度可達3馬赫；本身具有超過3,000公里的航程，且可進行空中加油，這意味著可對5,000公里範圍內的敵人造成重大的威脅。戰機在高空加速到特定速度後釋放飛彈，如此可保有傳統彈道飛彈的優點，而「匕首」的發動機自帶燃燒劑和氧化劑，因此適合在空氣稀薄的高空進行飛行。該彈以戰機為機動發射平臺的優勢，在於具有很好的隱蔽性和機動性，避免傳統地

註41：同註15。

註42：姜永偉，〈俄羅斯“匕首”新型高超聲速巡航導彈〉，《兵器知識》(北京)，第5期，2018年5月，頁22-24。

註43：同註15。

註44：王春生等，〈Kh-47M2，俄刺穿美反導系統的“匕首”——世界首型實戰部署的空基高超聲速武器解讀〉，《世界軍事》(北京)，第10期，2018年5月，頁92-96。

面發射平臺易曝光的缺點，飛彈的生存力也獲得提升⁴⁵。

4. 「匕首」具有優異且強大的機動與突防能力，使反飛彈系統面臨三項困境：

(1)「偵測難」－彈體外殼使用特殊複合材料製造，具良好的吸電磁波特性，同時採多錐體的構型，起飛後迅速拋掉表面突出部分，使彈體更加渾圓，可降低雷達波反射面積，也增加雷達反飛彈的偵測難度。

(2)「跟蹤難」－因為既具彈道飛彈的速度優勢，又具備巡弋飛彈的部分氣動飛行能力，全程可機動變軌(目標區上空特別劇烈)，致末段飛行路徑複雜，且下降速度可達10馬赫，反應時間極短，更令防空系統無法搜索追蹤。

(3)「攔截難」－10馬赫的末段航速，美軍現役的反飛彈攔截武器系統「愛國者」、「薩德」和「標準三型」等彈速均小於10馬赫，使反飛彈的攔截機率更低。

二、中共「東風17」

面對美國部署於中國大陸東岸外、太平洋第一、二島鏈上的武裝力量，加上日益龐大的外部軍事壓力，都是造成中共近年來積極發展軍事武器設備的原因，如第四代戰機、遠程轟炸機、新型驅逐艦及飛彈等；其中又以2019年建政70週年閱兵中，首次曝光的自製「東風17」極音速飛彈，成為最受矚目的焦點之一。

(一) 發展進程

1. 中共的極音速武器是以彈道飛彈為切入點，於1991年開始機動彈頭的研發，使再

入過程能夠調整彈道，更準確地打擊固定或移動目標，並運用到中、短程的彈道飛彈上。2000年，依序在「東風15B」(短程)、「東風21C」(中程)與「東風21D」(反艦)彈道飛彈上進行測試。

2. 第一代再入機動彈頭技術成功後，中共將空氣舵控制的再入機動彈頭應用到中、遠程彈道飛彈(判可能為「東風26」)，並將再入速度由12馬赫提升至18馬赫。此二階段的研製，積累了豐富的經驗，2012年在中共科學院力學研究所「錢學森工程科學實驗基地」完成世界最大、且最著名的「JF-12極音速激波風洞」⁴⁶，此一全長265公尺，試驗艙直徑3.5公尺，能容納翼展達3公尺的飛行器模型，並可模擬攝氏3,000度以下、25-50公里高空、速度5-9馬赫的氣流相對運動，試驗時間可達100毫秒，此為世界上最快的風洞，且規格明顯優於他國類似設備(如美國的LENS-X風洞)，也為中共奠定極音速武器發展的堅實基礎。

3. 在2014年1月進行的極音速滑翔飛行器(彈頭)試驗，美國防部將其命名為「代號Wu-14」，並研判其正式型號應為「東風-ZF」。在2014至2016年間，Wu-14乘波體極音速飛行器已進行多次試飛，其中僅第二次失敗，此成果震驚全球。2017年11月，中共將裝有新型極音速滑翔彈頭的彈道飛彈，命名為「東風17」。該彈進行兩次試驗，飛行距離為1,400公里左右，在近太空平飛最大高度約60公里，飛行時間約11分鐘，最後均成功命中靶標，落點與預定目標僅差幾公尺。

註45：同註15。

註46：劉楊，〈黑科技JF12風洞，牛在哪？〉，《世界軍事》(北京)，第24期，2017年12月15日，頁88-91。

表五：中共「東風17」極音速飛彈性能諸元表。



飛彈類型	彈道飛彈
發射型態	陸基
彈頭殺傷方式	動能殺傷(常規彈頭/核彈頭)
彈長、彈徑	11公尺、--公尺
彈重	15噸
命中精度	--公尺
彈速	均速7馬赫
射程	估計1,000-2,000公里
乘波體構型，彈頭可裝配傳統或核彈頭	

資料來源：參考盧伯華，〈陸東風17新亮相 美智庫：台愛國者飛彈會攔不住〉，中時電子報，2019年10月3日，<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20191003000894-260417?chdtv>，檢索日期：2020年7月27日，由作者綜整製表。

外界評估，「東風17」的彈頭可能為Wu-14或改良型，也代表其可能為Wu-14或東風-ZF的實用武器型號(或稱為服役型號)⁴⁷

4. 因為Wu-14極音速飛行器只是一種特殊彈頭，可裝載在各種彈道飛彈上，若安裝於「東風21」，射程可由1,500延展至3,000公里；安裝於「東風31」或其他洲際彈道飛彈上，則射程超過8,000公里，其威力不可小覷。

(二)「東風17」極音速飛彈性能

1. 該彈為中共自主研製，具全天候作戰能力的先進中、近程飛彈(射程介於1,000-2,000公里)，具備發射時間短、機動飛行距離長、有效射程遠和突防能力強等特點⁴⁸；從閱兵展示外形估計，長約為11公尺，重量約15噸，飛彈起豎架抬高約15度，顯示的彈體長度前三分之一的彈頭為三角形截面體，類似鴨嘴獸的嘴巴，底部平滑，屬乘波體構型，彈頭可裝配傳統彈頭或是核彈頭⁴⁹(如表五)。「東風17」的運輸一起豎—發射三用

車是使用五軸越野車底盤，為10×10全輪驅動車，具有較強的越野性能，有利於機動部署，在運輸途中為密閉式的，給予彈頭一定的保護，車首頂部配備有兩組通訊天線、衛星定位系統和預留的天線基座⁵⁰。

2. 從該彈三用車與飛彈外型比例分析，很可能和「東風16」一樣都是使用直徑為1.2公尺的固體火箭發動機，對比「東風21」的二級固體火箭發動機，可顯著降低發動機部分的研發和製造成本；「東風16」的射程約1,300公里，而「東風17」藉高升阻比滑翔彈頭的增程效果，射程應超過「東風16」。假定「東風17」之極音速彈頭在40公里高空，以10馬赫開始滑翔，結束時的高度為30公里，此時彈速約3馬赫，依相關計算公式推導，射程約1,567公里；若放寬速度，當結束滑翔時速度為2馬赫，則射程約1,666公里，但此時彈速過低，較容易被防空系統攔截。「東風17」彈頭的升阻比應較傳統機動再入飛行器(如潘興II飛彈)提高約五成以

註47：同註7。

註48：同註6。

註49：同註7。

註50：同註7。

上，所以最大攻擊半徑可擴大到60至100公里，由此預估有效射程約1,500-1,600公里。

另美方預估射程介於1,800-2,000公里之間，顯示其增程效果相當突出，媲美「東風21C」二級固體彈道飛彈的打擊能力⁵¹。

3. 已知的兩次測試中，都是從酒泉衛星發射中心發射，落點位於新疆的民豐靶場，飛行距離約1,400公里(直線距離約1,300公里)，平飛最大高度約60公里，飛行約11分鐘，據稱其命中概率誤差僅數公尺，全程均速約7馬赫，依再入後滑翔階段時間約占全程四分之三推算，「東風17」末段的速度很可能只有4馬赫或更低⁵²。

4. 美軍情報單位表示，「東風17」是基於「東風16B」發展而來，一種專門設計的極音速滑翔彈頭(Hypersonic Glide Vehicle, HGV)，並認為其將是世界第一種實用化的HGV飛彈，預計今(2020)年具備初始作戰能力。其飛行特徵完全體現極音速飛彈的獨特優勢⁵³；對比「東風16」彈道頂點高度約320公里，有很大一部分在大氣層外，容易遭到中段反飛彈系統的攔截。「東風17」頂點只有60公里，飛行中高度還不斷降低，進入大氣層後雖然彈速較彈道飛彈慢，惟因機動性強，所以彈道無法預測，且具備更精確的攻擊能力。與巡弋飛彈相比，靈活性能較差，但是速度快上數倍；若是將彈道飛彈的速度與巡弋飛彈的機動性和準確性結合，即便是具備大氣層內攔截能力的「薩德」(

攔截高度下限40公里)或是「神盾」系統(「標準-3」反飛彈系統)，要能夠準確偵測攔截該型彈都是一種嚴峻挑戰；若末段飛行速度較低(但仍具極強的機動力)，則「愛國者」可能有機會進行攔截。我國的長程預警雷達約可偵測1,800公里外的傳統彈道飛彈，但對壓低彈道的「東風17」偵測距離可能縮短到1,000公里，甚至更短⁵⁴。

5. 由於「東風17」的高突防力，在未來聯合火力攻擊中，主要可用於首波突擊、斬首任務；然因成本較傳統彈頭高，也可能用於摧毀重要目標。從「東風17」在閱兵展示上被安排在戰略打擊模組中，意味著該彈被賦予的任務應是打擊高價值、具有戰略意義的目標，如敵方元首、指揮中心、防空系統關鍵節點等核心要害目標⁵⁵，這將對美國的反飛彈系統構成重大威脅。若「東風17」於2020年納入序列正式服役，將對太平洋第一島鏈的目標形成有效覆蓋，屆時美軍部署的「薩德」、「神盾」等反飛彈系統將形同虛設；對共軍而言，也有效緩解美國在東亞部署的反飛彈防禦網，並降低所造成的戰略壓力。

三、美國

(一) 武器技術

美國在極音速武器的規劃並不晚於蘇聯，但長期以來只是進行技術積累，並未投入武器研製，這應與美國在蘇聯解體後，將戰略武器的發展重心放在飛彈防禦上，卻較少

註51：同註6。

註52：同註7。

註53：同註7。

註54：同註7。

註55：同註3。

投入研製新的戰略性攻擊武器有關⁵⁶。美國身為全球軍力最強、軍費最高、技術最好的世界大國，在極音速武器技術上採取雙管齊下的策略，對「助推滑翔式」與「吸氣式」極音速飛行技術都進行了研究探索。在該武器上依技術層面分析，大致可分為三個主要方向，說明如後：

1. 先進極音速武器(Advanced Hypersonic Weapon，以下稱AHW)：

AHW於2000年初開始研發，至2019年為止，已成功試驗2次，其升阻比約為2，若以14馬赫的再入速度估算，理論上可實現數千公里的遠距離高速滑翔，應可做為遠程飛彈發展；然2017年此項目的飛試中，僅成功滑翔了1,000多公里，由於熱防護技術的瓶頸，致無法達到更遠的射程。同時發展的還有最著名的極音速技術飛行器HTV-2(Hypersonic Technology Vehicle 2)，是一種具有高升阻比的乘波體構型，然此研究的技術跨度很大，無論是在熱防護或是氣動控制上都是高難度，且歷經兩次測試均失敗。

2. 戰術助推滑翔飛行器(Tactical Boost Glide，以下稱TBG)：

乘波體構型的TBG於2014年正式啟動，外型和HTV-2類似，研發的主要目標為縮小高升阻比飛行器的殼體和熱防護系統，以研製空射或艦載的戰術級極音速武器，預計2019年後進行試飛，然此項目之熱防護系統是一大挑戰。美國空軍曾於2017年公開招標，希望可於2020年前使熱防護工藝技術達到標準，TBG雖然在高升阻比氣動布局上較為



圖五：X-51A極音速飛彈

資料來源：王大根，〈美軍高超音速飛行器的代表，速度高達6馬赫，由B2戰略轟炸機投射〉，壹讀，2019年10月27日，<https://read01.com/gRPM2dA.html#.Xvy26kQzaNsl>，檢索日期：2020年7月26日。

先進，但速度和射程均遠低於AHW技術的極音速飛彈。TBG啟動前，美國同樣也對於吸氣式極音速飛彈進行研究，2011年使用碳氫燃料的X-51A極音速飛行器(如圖五)進行第四次飛試，預定要達成速度6-6.5馬赫，持續3,000秒的極音速飛行，但最終僅達到4.8-5.1馬赫，持續240秒，仍以失敗告終。

3. 極音速吸氣式武器概念(Hypersonic Air-breathing Weapon Concept，以下稱HAWC)：

(1) 2014年，美國同步啟動HAWC項目的研發，研製比X-51A更高效的超燃發動機與乘波體構型的飛行器，原規劃於2019年試飛，然直至現今仍持續進行研發中，預估在未來很長時間內，美國的吸氣式極音速飛彈都不太可能有飛躍性的成長，縱使技術達到成熟，恐也只能做為戰術級武器，並充當戰場上的配角⁵⁷。

(2) 美軍選擇以B-52系列轟炸機做極音速飛彈的發射平臺，其中TBG和HAWC兩種技術已多次驗證，包含X-51A及使用液氫燃料

註56：黃志澄，〈美俄高超聲速攻防大對抗〉，《太空探索》，第3期，太空探索雜誌社，2019年3月7日，頁56-61。

註57：張雪松，〈光與火之歌 美國高超導彈技術路線〉，《艦船知識》，第3期，艦船知識雜誌社，2019年2月1日，頁71-74。

的X-43。為適應體積和重量較大的極音速飛彈，美軍也將B-52的乘載能力從4.5噸載重提升至18噸(另一說法為9噸⁵⁸)，然而，過往技術中的X-43、X-51A，以及HTV-2都無法達到預期、可實戰服役的標準，X-43的液氫動力不具備武器化的條件；HTV-2技術難度和門檻過高，只有X-51A可能有機會研發出實用的武器，但其強度亦不足以達到震懾敵方的效果。因此，美軍現仍加緊研發的極音速武器，應是以先進極音速武器(AHW)項目為主要技術⁵⁹。

(二) 武器研發概況

1. 美國陸、海、空三軍對於極音速武器的研發個別有所不同，但都依上述三項技術路線持續發展。其中，空軍研發的極音速常規打擊武器(Hypersonic Conventional Strike Weapon，以下稱HCSW)是直接使用AHW技術，為錐裙翼構型，彈重約9噸，受限於構型上較低的升阻比，無法達到洲際彈道之射程，但做為空射型飛彈，仍可執行洲際打擊任務，屬於戰略級極音速武器⁶⁰。HCSW採用現有的彈頭、GPS/慣性複合導引技術，可在單個或多個戰區的反介入/區域拒止(Anti-access/Area Denial, A2/AD)環境下，進行極音速的精確打擊(包含高價值與時間敏感的固定或機動地面目標)。HCSW預估在2020年實現初期作戰能力，後續再開發具備全面作戰能力的其他型號；另後續可能掛載於B-52H轟炸機，為一種中、遠程飛彈，



圖六：AGM-183A極音速飛彈

資料來源：〈AGM-183A ARRW Missile 3D模型〉，<https://free3d.com/3d-model/agm-183a-arrw-missile-6789.html>，檢索日期：2020年7月26日。

估計射程至少2,000-4,000公里。

2. 陸軍研發的遠程極音速武器(Long-Range Hypersonic Weapon，以下稱LRHW)也使用AHW技術，和海軍共用縮小型的極音速滑翔飛行器，計畫2022年開始服役。LRHW為一種二級固體火箭極音速滑翔飛彈，射程可達2,250公里，一輛發射車可乘載6枚彈，具有很強的機動性和火力，屬戰略型武器。

3. 美國發展極音速武器的重點在戰術性武器⁶¹，空軍和美國高級研究計畫局(DARPA)合作啟動TBG和HAWC兩個飛行試驗項目。TBG由美國洛馬(Lockheed Martin)公司承包，目標是研製10分鐘內飛行1,850公里的飛彈；HAWC的最終目標是研製射程超過1,000公里的吸氣式極音速飛彈，可能具備由B-2A、B-21A或F-35匿踪戰機等內置掛載的能力。美軍的戰術級極音速武器都和前述這兩個試驗項目有密不可分的關係。

4. 2018年，空軍與洛馬公司啟動「空射快速響應武器」(Air-launched Rapid Re-

註58：尼莫，〈美B-52將裝備空射高超聲速導彈〉，《太空探索》，第11期，太空探索雜誌社，2018年11月7日，頁51-57。

註59：同註57，頁75-80。

註60：同註58。

註61：同註56。

sponse Weapon，以下稱ARRW），編號AGM-183A的極音速飛彈研製（圖六）。ARRW是在TBG基礎上研製的，為一種戰術級極音速飛彈⁶²。2019年6月，由B-52H轟炸機試射成功，最高彈速可達20馬赫，具多重變軌能力，可攜帶2至4枚；此外，亦可由B-21搭載發射。目前尚未正式公布AGM-183A技術細節與性能，但由飛試的資料進行推測，該彈彈體為圓柱形，帶有錐形頭整流罩，尾部安裝有折疊彈翼，預估射程約800公里，可能採用單級火箭助推器，且彈頭不分離。按B-52H的機身長48.5公尺，推算出ARRW彈長約6.5公尺，主彈徑約0.77公尺，頭錐段長約1.7公尺。若參考俄製「匕首」來估算AGM-183A彈重約2噸，彈頭可能係分離式，依需要配置常規或核彈頭。按規劃2019年完成關鍵設計評審，2021年要具備初期作戰能力；研判其滑翔機動能力不如預期，射程也明顯小於「匕首」的2,000公里。

5. 美國陸軍也計畫結合海軍主導研發的「通用型極音速滑翔載具」(Common-Hypersonic Glide Body，以下稱C-HGB)，配備研發中的火箭助推器，打造預期射程約2,250公里的陸基中程武器，並且將其整合至陸軍與陸戰隊現有「先進野戰砲兵戰術數據系統」(Advanced Field Artillery Tactical Data System，AFATDS)，做為戰區長程打擊及擊潰敵方A2/AD的能力，最快於2023年進行飛試驗證。美軍並預期在2023年組建的飛

註62：同註58。

註63：蔡馥宇，〈【寰宇韜略】美積極研發極音速武器 打擊威脅(下)〉，《青年日報》，2020年4月8日，<https://www.ydn.com.tw/News/379251>，檢索日期：2020年7月27日。

註64：同註63。

彈連，將由配備AFATDS的指揮車，搭配4輛中型的牽引發射車，每車搭載2枚極音速飛彈，一個連配備8枚⁶³。

6. 美空軍原定有ARRW和HCSW兩款滑翔的極音速飛彈，後者在2020年因預算而暫時擱置；ARRW在2019年6月首次完成飛試，射程約920公里，最大彈速可達20馬赫，彈體主要分為火箭助推器和極音速滑翔彈頭兩部分。ARRW彈體較HCSW小，對B-52H而言有較大掛載量，甚至有機會由F-15E掛載，擴大可能的戰術彈性⁶⁴。

7. 為能研製出價格合理、具極音速和長射程等性能的極音速武器，美國於2020年4月20日與挪威(Norway)展開合作，共同開發極音速武器所使用的「增程型戰術高速進攻衝壓發動機」(THOR-ER)推進系統；4月27日，美空軍表示，要求國防廠商提供吸氣式常規極音速巡弋飛彈(Hypersonic Cruise Missile，以下稱HCM)的訊息，並協助開發極音速巡弋飛彈。HCM和目前主流的極音速滑翔載具HGV有很大的不同，前者是在大氣層內發射，以傳統巡弋飛彈的方式運作，彈速可達5至6馬赫；後者是利用助推器到達大氣層之外，利用重力與發動機加速，並以滑翔設計改變其彈道軌跡。

肆、未來發展趨勢

當前世界強權中以俄羅斯、中共及美國等三國在極音速飛彈的發展已見成效，然各

國對是項武器的速度、高度、射程及結構等部分，仍持續研發精進，此舉也使各國反飛彈防禦系統面臨空前威脅，以下謹就前述三國家極音速飛彈未來發展趨勢，簡要分析如後：

一、俄羅斯

(一)為確保未來30至40年的全球軍力平衡，俄羅斯三款不同型號的極音速飛彈「先鋒」、「匕首」、「鋗石」接連列裝服役。俄羅斯總統普丁於2020年7月26日表示：「俄國海軍將配備極音速核子武器和水下核動力無人潛航器，持續強化戰力。」⁶⁵，此舉意味著該國武器發展已經率先進入極音速武器時代，將可對美國反飛彈系統構成致命性的衝擊。

(二)俄羅斯於極音速武器的研發與戰備，皆已進入實用階段，預判其下一步可能動作為將該武器廣泛裝備於陸海空三軍，使其可涵蓋遠、中、近程的全攻擊面。對此美國國防部表示：美軍將更加重視極音速武器的發展，因為該型武器完全有能力對當前的戰略格局產生重要影響，美國仍必須保持該領域的優勢地位⁶⁶。換言之，在俄、美此消彼長的激烈博弈中，極音速飛彈的新武器軍備競賽時代已然降臨。

二、中共

(一)近期，中共研究團隊在超燃衝壓發動機的地面測試中，連續運作了600秒，大

幅超越美國X-51的210秒世界紀錄⁶⁷，而超燃發動機的突破性發展成為極音速巡弋飛彈(HCM)的關鍵技術。目前「東風17」的極音速滑翔彈頭(HGV)，若提升為HCM則只需較小的助推火箭發動機就能起飛，氧化劑占用的重量可轉為燃料增加射程。HGV的能量來自於助推火箭發動機，而HCM則是自空氣中吸取氧氣的噴氣發動機，其重量遠低於自帶氧化劑的火箭發動機；另HGV的變化偏向橫向機動，變化較單純，而HCM可進行更加複雜的機動，甚至是迂迴攻擊。HCM的助推器只要加速到超燃衝壓發動機點火的速度就可以自行運作，對助推器的要求大幅降低，有助於降低助推器的體積和重量，而較小的助推器，意味著輻射熱特徵較小，且超燃衝壓發動機的熱特徵，遠小於火箭發動機，這也代表天基偵測其實是無法偵獲極音速巡弋飛彈的踪跡。

(二)分析指出，若「東風17」搭載HCM技術，將使其射程增加約15倍，保守估計至少也有5倍射程，如此該彈將可對夏威夷、甚至是美國東岸洛杉磯形成威脅，此軍事意義不言而喻⁶⁸。依「東風17」的發展趨勢，未來中共可能將極音速滑翔彈頭同步應用於該系列之東風21、26及31等型中、遠程飛彈上。依資料顯示，最新的「東風41」已具備極音速滑翔彈頭的能力，美國國會相關委員會的報告更直指，此武器恐大幅增加中共核

註65：〈普丁宣布俄海軍「再強化」：配備極音速核子攻擊武器、水下核動力無人潛航器〉，ETtoday新聞雲，2020年7月27日，<https://www.ettoday.net/news/20200727/1769949.htm>，檢索日期：2020年10月11日。

註66：同註19。

註67：楊幼蘭，〈陸超燃衝壓技術猛進 東風17射程起碼增5倍〉，中時新聞網，2020年6月5日，<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20200604002573-260417?chdtv>，檢索日期：2020年7月27日。

註68：同註67。

武器對美國的威脅；此外，中共還在2018年測試極音速武器「星空二號」(Starry Sky-2)，官方並宣稱其最高彈速可達6馬赫，且具有高度機動能力⁶⁹，中共科技實力確實不容輕忽。

三、美國

(一)鑑於俄國聲稱已成功開發能以20倍音速飛行的極音速滑翔載具，受此刺激，美國國防部將研發極音速武器列為當務之急，希望能盡快研發出可達5倍音速飛行的極音速武器，並挹注大量經費，光2020財年即編列高達50億美元(約新臺幣1480.5億元)預算，投入未來5年的開發計畫。負責主管陸軍「極音速、太空與導能武器部門」官員稱：「12至14個月內，陸軍將把最優先開發的極音速滑翔載具研發工作，從官方實驗室轉移給『動力學解決方案公司』(DTS)」，並預劃參加預定在2021年秋季的試射⁷⁰。

(二)儘管美軍的「通用型極音速滑翔載具」(C-HGB)與中共的「東風17」並不是同一等級的武器，前者為中、長程飛彈，射程介於3,000至5,500公里，而後者在1,500至2,000公里，射程不同代表最大彈速也不同。C-HGB使用的助推火箭推速可達16-19馬赫，而東風17的助推火箭推速在10-12馬赫以下；此外，美軍的C-HGB彈為錐裙翼構型，在極音速飛行過程中不斷滾轉，彈體表面受熱均勻，而「東風17」的乘波體構型受熱集中於底部，因此錐裙翼構型可採用較便宜的抗熱技術，或說可承受較高的彈速飛行，且

在相同彈徑下，錐裙翼構型具有較大的容積率，可攜帶較多的彈藥量，對目標產生更大的殺傷效果。

(三)美國雖有長期的研發技術做基礎，但與俄、「中」相比，美國的極音速武器仍處於技術驗證階段，且美方未考慮、也不會研發用於搭載核彈頭的極音速武器，這代表美國未來的極音速武器必須具備更優異的精確度，並在技術上更具挑戰性。咸信，當美國的極音速武器發展成熟、戰備服役後，將可搭配匿踪武器與巡弋飛彈形成快慢搭配，快速武器即時打擊移動目標、慢速武器則清除固定目標，並可以不同方式拆解中共和俄羅斯在A2/AD所設下的防護圈。

伍、結語

鑑於極音速飛彈在未來戰爭中正扮演關鍵的突防角色，並可做為決定戰局走向的關鍵因子；因此，世界各國競相發展，以期能藉此達到威懾作用。該型飛彈可成為最強的「矛」，亦可做為最強的「盾」，可達到震懾敵國、使他國不敢輕易冒犯的關鍵存在，亦顯見其存在確實不容輕忽。該飛彈毀滅性的破壞力，使得目前世界軍事力量失衡，為求區域和平穩定，世界各國亦計畫擬定相關條約，以達到互相制衡約束的作用，避免此武器的氾濫發展，造成更嚴重的後果。現階段極音速飛彈象徵了一個國家的軍事武器實力，由於其研發門檻極高，目前並不普及於世界諸國，僅有少數國家擁有，且都將其中

註69：同註63。

註70：郭正原編譯，〈極音速武器競逐美力拚2023部署〉，《青年日報》，2020年8月7日，<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1246981>，檢索日期：2020年8月21日。



的關鍵技術列為絕對機密，藉由各種展示的機會，展露其極音速武器的研發成果。

我國長期遭受中共武力威嚇與脅迫，並於國際上處處受打壓，近期又傳出中國大陸東南沿海飛彈基地已升級為「東風17型」飛彈⁷¹，對我威懾意味更加濃厚。鑑於中共對該項武器仍在不斷研發改良，且現階段所有現役的防空系統皆無法保證可有效進行攔截該飛彈；雖然中科院現已將該武器納入未來威脅評估，並加緊研究其反制裝備與技術，然囿於世界各國對於極音速武器的防禦策略各有所不同，期許中科院在既有基礎上繼續

加快研發進度，並與國軍共同攜手加強反飛彈防禦策略，俾能相互協調，共同確保國家安全。

作者簡介：

徐雍博士，逢甲大學光電工程學系101年班、逢甲大學光電工程碩士103年班、國立交通大學光電工程博士108年班，現服務於國家中山科學研究院工程師。

劉書麟先生，備役海軍上校，海軍軍官學校78年班、國防大學海軍指揮參謀學院88年班、國防大學戰爭學院96年班。曾任海軍司令部參謀官、康定級艦艦長、戰隊長、副艦隊長及國防部副處長，現服務於國家中山科學研究院。

註71：田思怡，〈威懾台獨 大陸東南部署東風17飛彈〉，《聯合報》，2020年10月19日，A4版。

老軍艦的故事

昌江軍艦 PC-115

昌江軍艦係由美國Portland市之Albina Engine & Machinery公司所建造之巡邏艦，編號PC-1262，1943年3月27日下水成軍，在美服役期間曾參加第二次世界大戰。

民國43年6月30日美國依據中美共同防禦協定，將該艦移交我國，命名為「昌江」軍艦，編號PC-115，隸屬巡防艦隊。昌江軍艦自成軍後除擔任海防巡弋任務外，曾參加過民國44年12月31日糞箕山戰役、民國46年11月5日海壇島海戰、民國47年4月18日鎮海角海戰及民國47年9月21日七星礁海戰等多次重要戰役，服役期間戰功彪炳。該艦於民國59年11月1日，在海軍服役17年後，由於艦體老舊，內部機件也多不堪修復，奉命除役。(取材自老軍艦的故事)

