

FOCUS

專題報導

● 作者/Abraham Mahshie ● 譯者/周敦彥 ● 審者/洪琬婷

論極音速武器之防禦

Hypersonics Defense

取材/2022年1-2月美國空軍月刊(*Air Force Magazine*, January-February/2022)

第7太空預警中隊在加州畢爾(Beale)空軍基地部署預警雷達(Early Warning Radar)，藉以提高進襲飛彈的偵獲率。(Source: USAF)



中共和俄羅斯持續研發構成重大威脅和破壞區域穩定的極音速飛彈。美國飛彈防禦局將持續研發極音速與彈道飛彈感測器，並與太空軍合作，將未來的系統整合到統一防禦體系中，以有效反制威脅。

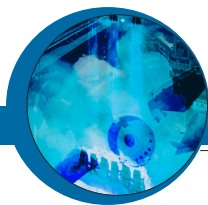


洛馬公司提供的概念圖顯示，愛國者3型增程飛彈正在攔截一枚極音速武器。極音速武器是破壞區域穩定的威脅，而且美軍現有的武器無法予以反制。(Source: Lockheed Martin)

極音速武器不會在天空中蜿蜒飛行。一具重量一萬磅的滑翔載具以5到15倍音速航行所產生的應力和熱量極大，在急轉彎時會導致彈體解體。但就算是些微調整，也會使這些武器變得無法預測，加上其速度極高之因素，幾乎不

可能成功將其攔截，而且中共和俄羅斯都研發了這種構成重大威脅和破壞穩定的極音速武器。美軍領導層級表示，運用新的防禦措施反制這些威脅，大約需要十年的時間準備。

美國飛彈防禦局(Missile Defense Agency, MDA)和太空軍



美國國家偵察署透過發展太空情監偵能力(如與聯合發射聯盟[United Launch Alliance]合作發射衛星升空)確保國家安全，現更與太空軍、飛彈防禦局及民營企業合作，撰擬飛彈預警暨追蹤兵力研析報告。(Source: DVIDS/ULA)

(Space Force)均未透露其極音速武器追蹤能力之限度，或是美國在多遠距離之內可以攔截極音速武器。極音速武器與可預測軌跡的常規彈道飛彈有所不同，極音速武器可以低空飛行、避開雷達偵測，並且能夠在滑翔階段變軌飛行。此武器目的是快速摧毀高價值目標，諸如航艦。

麻省理工學院和科羅拉多大學的專家表示，目前美國防禦體系可以偵測到這些新式武器，但是還沒有能力打擊飛行中的極音速武器。對美國有利的是，極音速武器變軌是有代價的：只要飛行方向輕微改變就會產生阻力，而後大幅降低飛彈

的射程。

「最關鍵有效的方法是製造更快速、更敏捷的攔截器。」——麻省理工學院研究員萊特(David Wright)

目前，位於各種軌道上的「高空全時紅外線」(Overhead Persistent Infrared)飛彈預警衛星，如太空紅外線衛星系統(Space-Based Infrared System, SBIRS)和國防支援計畫(Defense Support Program, DSP)，可在飛彈和太空武器甫發射即

偵測到其訊號。陸基雷達則在大氣層內和大氣層上方偵測與追蹤飛行中的飛彈，太空作戰指揮部(Space Operations Command)發言人皮爾森(Mike Pierson)如此表示。

但是，極音速武器所形成的威脅須建構新能力加以因應。

「極音速武器絕對是我們威脅分析的一部分」，皮爾森表示。美太空軍與美國國家偵察署(National Reconnaissance Office)、飛彈防禦局、民營企業和其他部門合作，完成飛彈預警和追蹤的聯合兵力整建研析報告。

皮爾森補充道，「我們正在為未來的太空架構發展新兵力整建計畫。當談到未來太空架構時，背後會涉及一些敏感問題，而這些架構也尚未拍板定案」。

2021年1月，美國飛彈防禦局和雷勝哈里斯公司(L3Harris)與諾格公司(Northrop Grumman)簽署了研發「極音速與彈道飛彈太空感測器」(Hypersonic and Ballistic Tracking Space Sensor, HBTSS)的合約。這些新型衛星將整合地面雷達，來追蹤全球各地的極音速飛彈。該局規劃於2023年前在軌展示兩顆原型衛星，並會在同年11月簽署三份新型「滑翔階段攔截器」(Glide Phase Interceptor)合約，期能在2020年代末期發展攔截極音速武器的能力。

「當談到防禦極音速武器時，本局重點長期著眼於區域性的作戰」，美國飛彈防禦局局長希爾(John Hill)中將於2021年12月6日出席阿拉斯加州克利爾太空軍站(Clear Space Force Station)首次部署長程辨識雷達之時表示。

希爾指出，美國航艦戰鬥群現在已配備海基終端攔截(Sea-Based Terminal, SBT)飛彈防禦能力。

「他們將讓驅逐艦運用這種能力，來保護航艦免遭極音速武器所攻擊」，希爾表示。

美國飛彈防禦局表示，海基終端攔截所採用的是神盾艦「基線9C」(Baseline 9C)功能，包括SPY-1雷達和標準6型飛彈來防禦「反艦彈道飛彈和部分極音速武器的威脅」。

但是美國飛彈防禦局和專家都提出警告，必須在飛彈軌跡進入終端階段前採取行動，才能成功打擊極音速武器。

希爾表示，「我們正在進行一個計畫……讓我們重新檢視飛彈軌跡，並且針對極音速武器威脅的滑翔階段進行多層次防禦」。

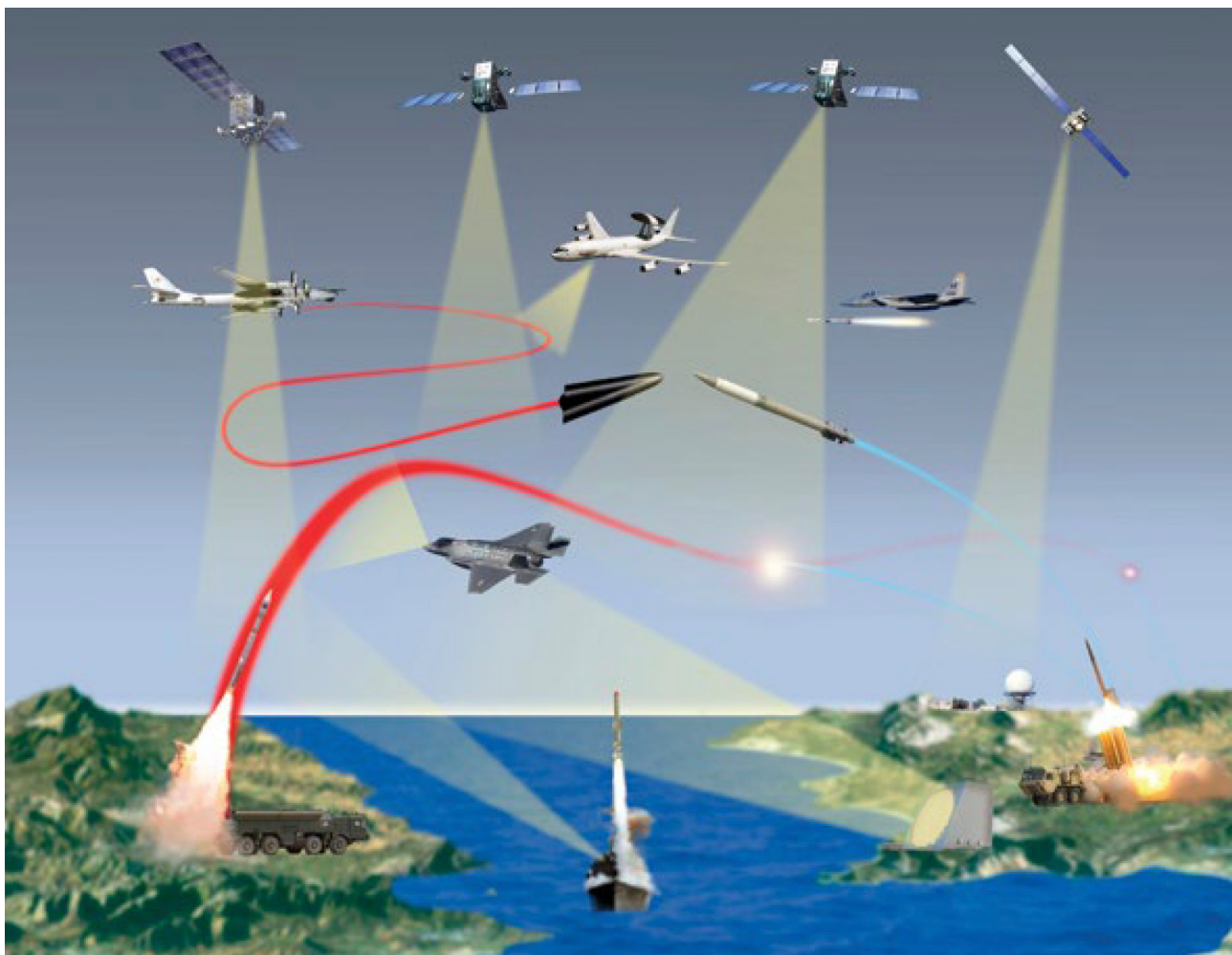
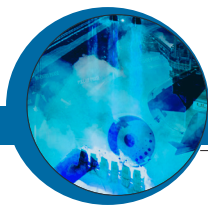
他補充道，「如果能在極音速武器助推階段，或是在由飛機或巡弋飛彈發射時發動打擊，那只是第一步。然後，如果能在滑翔階段予以摧毀就很完美，因為一旦過了滑翔階段，只剩下終端攔截能力可以運用了」。

當被問及美軍現在具備何種能力以在滑翔階段追蹤和標定極音速武器時，希爾表示：「今天……我們尚未擁有這種能力」。

變軌能力言過其實

專家表示，重量一萬至兩萬磅的武器系統以極音速飛行，其變軌能力有限。

麻省理工學院核子安全與政策實驗室研究員萊特表示，「如果觀看相關影片，你會看到這些極音速飛彈就像是在四處巡弋、繞行，實際上並非



極音速飛彈防禦概念圖中，美軍衛星與飛機、艦艇監視飛彈、傳輸訊號並共用情報。(Source: DOD, Lockheed Martin, Northrop Grumman)

如此。因為物體速度如此之快，以致要改變方向……你必須做非常多工作，而這需要一段很長的時間」。

極音速武器可擁有方向舵和彈翼，以調整高度或改變方向，但代價是犧牲速度和射程。飛彈可以在飛行中段變軌，下降到約50公里的高度，利用升力進行機動，並在其彈道上飛行很長的距離。在高速時產生的大量熱力和壓力之下，材料強度是主要的限制因素。

科羅拉多大學波爾德分校國家安全倡議中心(Center for National Security Initiatives, University of Colorado Boulder)主任博伊德(Iain Boyd)博士表示，即使是些微調整也能產生重大影響，「飛彈變軌時改變的角度不需要很大，只要微幅調整就足以使其難以追蹤」。

萊特解釋此挑戰內涵；在較低高度，由於大氣的密度更大，所以升力和阻力都會更大。

萊特表示，「關鍵是，如果飛彈下降到較低的

高度，大氣密度會更大，這使其能夠產生更大的升力，進而更快速的轉向，但是同時也增加了所承受的阻力」。

萊特計算出以15馬赫速度飛行的極音速滑翔載具，做出30度轉向需時七分鐘，如果是在40公里的高度中飛行，就必須下降2.5公里才能達成這個目標。

萊特表示，「如此曲率半徑大約是4,000公里，是一個相當緩慢的轉向。與此同時，此極音速載具損失了15%的射程」。如果下降五公里高度，轉向的時間就減少一半以上，但是這種變軌動作的代價，是犧牲載具25%的射程。

萊特表示，「人們很容易以為極音速載具飛行方式與一艘能隨意到處走的快艇無異，實際上載具轉向時間遠比快艇慢上許多，而且代價十分高昂。因此，我認為變軌能力被過度誇大了」。

麻省理工學院極音速研究實驗室主任哈里斯(Wesley L. Harris)博士目前正在與一個由七名博士生組成的團隊合作，以瞭解極音速載具上的負荷、壓力分布和導熱情形。

「這些都是巨大負荷」，他表示。「這些載具通常重達兩萬磅，不少於一萬磅，以五馬赫的速度飛行。因此，輕微偏向就能產生巨大載荷，形成衝擊波，甚至會導致載具上之彈翼、控制介面脫落，巨大壓力則造成載具上的力量負荷和衝擊波界限相互影響」。

萊特認為，載具移動速度如此之快而造成的巨大限制，並未納入極音速武器討論範圍之內。

他表示，「我認為關於極音速武器是無法偵測和可隨意變軌的說法，都是沒有根據的」。

儘管如此，美國飛彈防禦局仍準備在極音速武器威脅的各階段進行防禦。

「極音速武器能夠以極高速度飛行，具有不可預測的飛行路徑，對現有的防禦系統構成挑戰」，美國飛彈防禦局在一份聲明中表示；「本局正在發展一種系統層級的防禦架構，以提供多層次防禦，因應極音速武器日益嚴重的威脅」。

追蹤極音速武器

博伊德解釋，追蹤極音速滑翔載具「令人困惑」之處，是該載具與彈道飛彈有所不同，彈道飛彈是在飛彈防禦系統可進行有效防禦的範圍內。

他表示，「極音速武器實際上是在空中的不同部分飛行，能夠從原彈道軌跡變軌飛行，對於防禦方而言，這是一個更為困難的挑戰」。

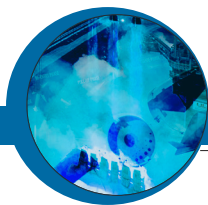
極音速武器在20至60公里的高度飛行，既遠高於飛機，也遠低於低軌道衛星。

「極音速武器有一項特性，就是遊走在我們現有防禦系統的罅隙之中」，博伊德表示。無論是用於偵測飛彈的太空感測器或者是陸基雷達，都不是為了因應此一威脅而設計的。

博伊德指出，「實際上有很多裝備可供使用，但是我們忽略了，極音速武器不必然沿著可預測的彈道飛行，而且只須小幅度變軌，就可能超出我們掌握之外」。

太空紅外線衛星系統可以藉由熱能訊跡來偵測火箭發射。從理論上而言，也可以透過觀察極音速武器在飛行中產生的熱能來進行追蹤，萊特表示。

「如果某個物體以十馬赫的速度飛行穿過50



公里厚的大氣層，那麼就會產生高熱，發出這些衛星可以看到的紅色光芒」。因此，問題不在於來襲飛彈能否被看見，萊特說道。

「這種想法只是令人驚訝的忽略了一個物理事實，就是這些物體產生如此大的熱能，所以會被預警衛星看到」。

但是博伊德指出，衛星必須全程追蹤這種飛彈，因為隨著速度減慢，熱能訊跡可能會變得太微弱而無法辨識。

「在未來很可能會有需求浮現，需要靈敏度更高的感測器來辨識極音速飛彈」，他表示。

這是美國飛彈防禦局極音速與彈道飛彈感測器合約的重點。該專案之2B階段將著重於工程設計和強化風險管控。

美國飛彈防禦局將持續研發極音速與彈道飛彈感測器，以具備先進高空全時紅外線感測功能，可針對極音速威脅和彈道飛彈防禦威脅提供可靠之射控追蹤數據。該局計畫與太空軍合作，將未來系統整合到全般防禦體系之中。

「極音速與彈道飛彈感測器相當必要，因為我們無法用陸基

雷達來取代更先進的需求」，該局在宣佈合約授予時表示。

萊特表示，「如果我方在地面上有雷達，而敵彈道飛彈上升達1,500公里時，我們可以看到它的訊號」。但是地球曲率遮蔽了較低飛行高度的武器，直到接近500公里高度左右才會看到訊號，此時只剩大約兩分鐘的時間做出反應。

「這已經太晚了」，博伊德表示。

滑翔階段攔截器

現役最先進的飛彈防禦系統是愛國者3型飛彈(Patriot Advanced Capability, PAC-3)系統，該系統可以達到極音速來打擊目標。極音速專家認為，只要部署在正確的位置，目前的飛彈防禦系統可以保護高價值裝備免受極音速武器的威脅。

萊特刻正研究極音速武器對現役飛彈防禦系統的致損性(Susceptibility)。他表示，「如果你將極音速武器減速到6馬赫以下……你可能很有機會用愛國者飛彈這種最先進的武器進行攔截」。

然而更快的武器總是會占上

風。如果攔截器比來襲的飛彈更快，就能夠將之擊落。但是，「如果極音速武器的速度與攔截器大致相同，那麼極音速武器的優勢略勝一籌」，萊特表示。

他表示，「如果你擔心極音速武器……在我看來，最關鍵的因素是製造更快、更敏捷的攔截器。有一條經驗法則是，攔截器實際上需要比目標多兩到三倍的橫向加速度，以彌補這種時間滯後」。

博伊德卻持相反意見。他表示，美國飛彈防禦局首先必須克服追蹤問題。「因為我們沒有部署感測器，而敵方極音速武器在天空不同區域飛行，因為地球的形狀，雷達雖可以辨識目標，但我們會來不及讓攔截器飛抵目標並進行接戰」。

美國飛彈防禦局的多層次追蹤方式將從太空感測器追蹤發射和巡弋階段開始，並一直持續到地面雷達能夠捕捉到目標。追蹤數據將提供部署在神盾艦上的新型滑翔階段攔截器飛彈防禦系統，該系統將在巡弋階段嘗試攔截極音速飛彈；作為備援手段，為因應極音速威脅目標突穿防禦，那麼神盾系統的



2017年，美海軍莫比灣號(USS Mobile Bay)巡洋艦在完成神盾艦基線9升級後，更順利完成標準2型飛彈試射。未來，艦艇在整合太空感測器多層次追蹤數據後，將可大幅提升巡弋及終端階段之目標攔截能力。

(Source: US Navy/Chad M. Butler)

標準6型飛彈防禦系統仍然得以在終端階段與目標接戰。

哈里斯表示，只要有足夠預警時間以及瞭解來襲武器尺寸、重量和變軌能力，現有攔截器可有效對抗極音速武器。

「這些細節至關重要」，他表示。攔截器不需要直接擊中目標；只須在鄰近之處引爆，即可摧毀來襲武器。「你必須建造速度更快、變軌能力更高和彈頭威力更大的防禦性攔截器」。

然而，萊特不採信美國飛彈防禦局的說法，他認為標準6型飛彈的速度還不夠快，不一定能在終端階段摧毀極音速威脅目標。

他表示，「我認為標準6型飛彈的速度太慢了，問題不在於你所關注的感測器，而是要有更快和機動能力更高的攔截器」。

事實上，即便能在終端階段擊中來襲的武器，可能也無法證明其反制效果。博伊德指出，

「因為威脅目標仍然會突穿，所以，即使你能夠在最後進行接戰，也可能為時已晚」。

博伊德認為，美國須儘快增強軍事投資力度。他表示，「我們應該要有急迫感。我認為目前的軍事投資無法提供全面解決方案……以目前進度來看，需要很長一段時間才會有所成效」。

與此同時，俄羅斯和中共正在競相發展極音速燃燒衝壓(Scramjet)和衝壓噴射(Ramjet)發動機，搭配這些發動機可以製造出更小型、機動能力更好，也更難偵測的武器。威脅不會一成不變，而是像所有武器一樣，會持續進步。

哈里斯表示，「下一代攔截器必須能對特定參數有反應，這些參數來自於我們對敵人攻擊性武器的瞭解：這些武器的變軌能力如何？我們必須瞭解這些資訊，我們別無選擇」。

版權聲明

Reprinted by permission from *Air Force Magazine*, published by the Air Force Association.