

研析美國新世代飛彈防禦新貌

軍事科技作者 耿志雲

提 要

美國飛彈防禦局(MDA)日前推出一項計畫，藉區分各國防承包廠商之間的研發工作，以期維持美國的飛彈防禦系統與現代化，達到消滅潛在對手洲際彈道飛彈的威脅。同時也正在致力發展下一代功能更強的攔截器，取代現役的陸基攔截器(GBI)。這批專供「陸基中段防禦」(GMD)系統使用的GBI早於2017年11月已完成在阿拉斯加州格里利堡的部署，目的在於防禦中、俄、北韓和伊朗的彈道飛彈。

在國防預算增幅縮減之時，當局也計畫重新編組既有的飛彈防禦架構，將原屬戰區層級的「薩德」系統移防成國土防禦的戰略單元，配合「長程鑒別雷達」(LRDR)的升級與SM-3 Block IIA「標準」III型艦載反飛彈系統的進展，將有效鞏固東亞盟國的戰略前沿，未來也可望藉由「印太戰略」的布局，串聯亞太各駐地的防空情報資料網路，完全涵蓋對敵飛彈演訓的動態，獲得早期預警與反制的戰略先機制高點。

關鍵詞：陸基中段防禦系統(GMD)、陸基攔截器(GBI)、終端高空防禦(THAAD；薩德)系統、海基反彈道飛彈系統RIM-161A(SM-3)、長程鑒別雷達(LRDR)、美國飛彈防禦局(MDA)

前 言

MDA將其現役的GBI系統區分為：推升階段、加速階段、中段接戰階段和終端接戰階段。各階段都對應於來襲的彈道飛彈飛行軌跡，採取不同的接戰模式。而各階段對彈道飛彈防禦系統的回應能力，都各有優缺點，每個防禦地理區位距離威脅的遠近，決定了適合採用哪種防禦系統。由此產生的裝備高彈性靈活部署，和分層級的防禦概念，可以提高總體防禦效率，讓系統消滅威脅的機

會增多，能精準擊落對手的彈道飛彈，建構飛彈防禦網成功的機會就越大。

對於彈道飛彈的長程預警戰備活動，也被MDA概分為實現監測當今世界5個地表「區塊」的戰略目的。在歐洲與中東，從對伊朗有限度的長程飛彈防禦與反制，捍衛北約盟國(NATO)和美國部署在歐洲的部隊，並擴大對美國本土的防護。包括將在波蘭建立的美國飛彈防禦系統，以及目前位於夸加林環礁的「雷根彈道飛彈防禦試驗場」的歐洲中段雷達(European Mid-course Radar，

EMR)，該雷達將進行改裝，並移至捷克境內¹。2009年9月17日，歐巴馬政府以新的「歐洲分階段自適應進程」(European Phased Adaptive Approach, EPAA)因應中東與歐洲的飛彈防禦策略，將預警和攔截的能力分配到歐洲，為美國爭取新的戰略前沿²。

在亞太地區，藉由部署在各盟國或特定區位的長程預警雷達，串聯成可供美國本土防禦彈道飛彈的即時監控網路，同時透過「升級版預警雷達」(UEWR)的相位陣列天線，鏈接海面「神盾」戰系建構反彈道飛彈的戰備序列。(圖1)

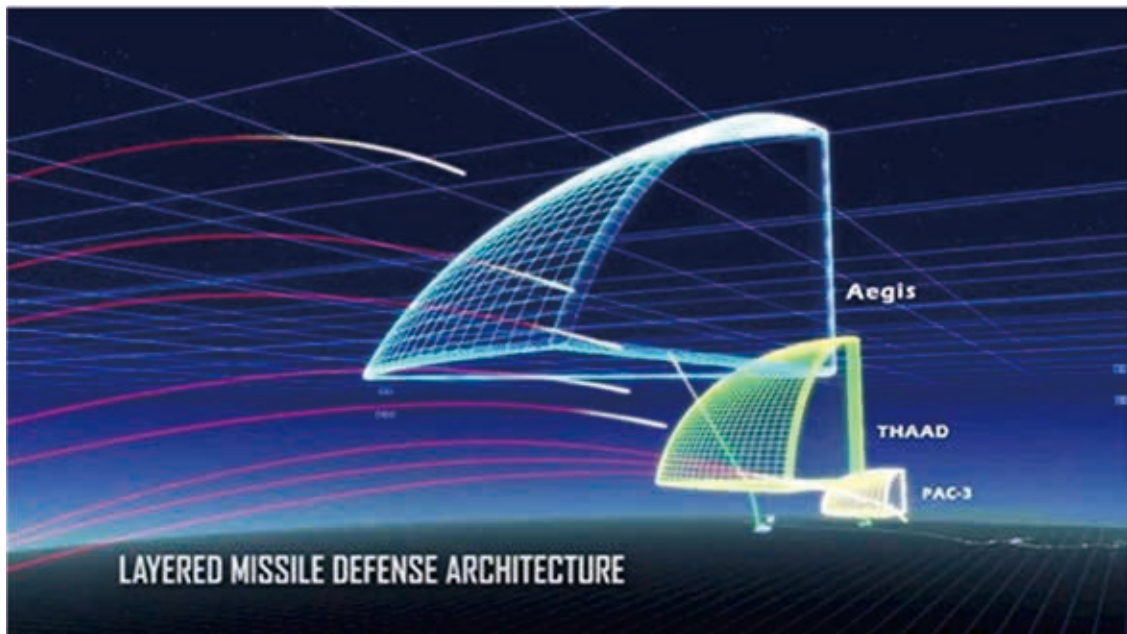


圖1 美國現代化彈道飛彈防禦分層概念圖

資料來源：Stephen Kuper, “The layers of modern missile defence”, key enablers, Defense Connect, 2019/4/18, <https://www.defenceconnect.com.au/key-enablers/3925-the-layers-of-modern-missile-defence>。

新飛彈防禦系統的建構與思量

北韓在2017年春夏對日本海和太平洋的中長程飛彈試射活動一度達到高潮，甚至揚

言將關島列入目標³，敦促了MDA加快反制ICBM的試射部署。

為因應對手在超高音速巡弋飛彈的發展，MDA正在全力研發下一代攔截器。對此

- 1 Jürgen Altmann, Götz Neuneck, “US Missile Defense Plans in Europe, Implications for Russia and Europe”, INESAP, 2007/10/21~26, 檢索日期2020/4/6, <http://www.inesap.org/bulletin-28/us-missile-defense-plans-europe>。
- 2 Bureau of Arms Control, Verification, and Compliance, “United States European Phased Adaptive Approach (EPAA) and NATO Missile Defense”, U.S. Department of States, 2011/5/3, 檢索日期2020/4/9, <https://2009-2017.state.gov/t/avc/rls/162447.htm>。
- 3 News, “North Korea ‘considering missile strike on US Guam base’”, BBC, 2017/8/9, 檢索日期2020/4/5, <https://www.bbc.com/news/world-asia-40871416>。

，MDA現任局長、海軍中將鍾·希爾(Jon Hill)在2020年3月份的「美國陸軍協會」活動中曾公開表示：「當局知道合約不包括提供MDA未來所需的一切，因此將繼續完成該合約的其他項目」⁴。據悉，由於技術問題，原本想用重新設計的版本，升級「陸基攔截器」(GBI)的外大氣層獵殺載具(攔截器的彈頭模組)的計畫已於2019年取消。因此

，MDA決定重擬新攔截器的整套計畫，而不只是重新設計該程序，並停止建造新的GBI。

MDA正在試圖找出可滿足GMD計畫的不同途徑，考慮的建構方式包括：授予多份合約給不同廠商，以執行計畫範圍的分段任務，或者以單一合約執行整個計畫，無論是採用哪種合約模式，對於所有考慮中的建構方法而言，至關重要的是建立可長久的安排策略，以便於在整個軍備計畫生命週期中執行「武器系統整合」(WSI)功能。據當局透露，可能將GMD合約的計畫分成5部分⁵。

一、飛彈防禦局增加專項合約

為有效達成技術研發與整合的期程，飛彈防禦局(MDA)在合約的授予上也是別出心裁。日前不久，波音公司已經獲得了當局授權到2023年在阿拉斯加州的格里利堡(Fort Greely)，和加州的范登堡空軍基地(Vandenberg Air Force Base)的「陸基中段防

禦系統」(GMD)研發和維護合約。現存的GMD系統由安置在地下發射井中的44座陸基攔截器，以及地面管制站、附屬的偵測和射控系統，以及其他的支援基礎設施組成。波音公司曾在2018年獲得了66億美元的獨家專項撥款，用於建造一座新的飛彈倉發射井和另外20枚GBI，並且維持這座新造的系統。

當局考量，隨著新的國土陸基攔截器(NGI)的製成，如果有機會增加廠商之間的承包競爭，將可更確保陸基飛彈系統、傳感器和射控系統以及附屬的所有其他單元運行無礙。MDA以前曾考慮將合約分發給多家國防承包商，以為藉此會降低成本並且提高程序效率，但其實沒有實現預期目標的任何項目。2020年3月，MDA頒布了兩個公開條件，透露當局可能仍會拆分合約發包廠商。先前MDA在系統整合工程十分順利，與新GMD架構的合作廠商也配合的很好，但是整套新系統龐大且複雜，所以應該通過拆分合約的模式，在不失去所有這些單元的整合前提下，繼續推動計畫，MDA的目的明顯是朝此方向前進。

在對MDA最有利的前提下，當局傾向以一家承包商專門提供NGI，這將藉由單獨的提案來達成。另一家負責接手傳承和管理未來的陸基系統，另一家負責維持現有的

4 Megan Eckstein, "MDA, Army Withholding Pay as Aegis Ashore Poland Construction Still Drags", USNI News, 2020/3/12, 檢索日期2020/4/3, <https://news.usni.org/2020/03/12/mda-army-withholding-pay-as-aegis-ashore-poland-construction-still-drags>。

5 Jen Judson, "Missile Defense Agency to inject competition into homeland missile defense contract", Defense News, 2020/4/2, 檢索日期2020/4/5, <https://www.defensenews.com/pentagon/2020/04/02/missile-defense-agency-to-inject-competition-into-homeland-missile-defense-contract/>。

GBI運行。還有一家公司將與軍方一起操作武器系統，並且執行載具維護計畫和解除系統的衝突、現場操作、測試技術支援，以及倉儲和零附件管理。最後一家承包商將擔任武器系統整合工程，從而負責整體GMD整合，包括GMD各單元的物理和邏輯整合、GMD系統和MDA的高層級整合、計畫和執行所有必要的測試，以驗證整體符合要求。

二、新試射成績消除了ICBM威脅

MDA在2019年3月公開的一份聲明指出，針對洲際彈道飛彈(ICBM)威脅的「國土飛彈防禦系統」的首次多發試射獲得成功。MDA於2019年3月25日(星期一)進行了新一批的試射⁶。它曾於2017年5月針對ICBM目標，試射了陸基中段防禦系統(GMD)的陸基攔截器(GBI)。當時，MDA就表示，當局下一次試射是針對ICBM進行更複雜的「齊射測試」，包括用兩枚GBI，因為針對一個目標發射兩枚GBI在操作上將更加實際，對於證明整個系統的有效性也很重要。

MDA的聲明說，在這批試射中，第一發GBI按原計畫摧毀了模擬的對手ICBM的重返大氣層載具。接著發射的第二發GBI探測了前一枚產生的碎片和剩餘彈體，沒有發現其他的模擬重返大氣層載具，而是精準選擇了它可以識別的下一個「最致命的物體」，並按照設計的意圖和路徑進行了攔截。模擬ICBM的靶彈是從馬紹爾群島夸加林環礁(Kwajalein Atoll)的「雷根試射場」發射，該試射場距離位在加州范登堡空軍基地發射井

中的GBI攔截器有4,000多英哩之遙。

時任MDA局長的空軍中將山繆爾·格雷夫斯(Air Force Lt. Gen. Samuel Greaves)在聲明中說：「這是對複雜的，具有威脅代表性的ICBM目標的GBI『齊射攔截』，是一個關鍵的里程碑」。該系統完全按照設計的目的運行，試射的結果提供了在飛彈防禦系統中使用「齊射測試」(Salvo Test)的可行證據。由於陸基中段防禦系統對於捍衛美國本土至關重要，試射表明，MDA對ICBM具有強大而可靠的威懾力。在此次試射中關係的其他系統，包括：太空衛星、地面和海基彈道飛彈防禦系統資料鏈，這些防情單元為全球彈道飛彈防禦系統的指揮、管制、戰鬥管理和通信(C2BMC)系統提供追蹤與獲取數據的架構。

先前曾有技術問題的GBI搭載的EKV(外大氣層獵殺載具)，在這次試射中獲得了成功。多年來，GBI攔截器的EKV設計，在與助推火箭脫離後，藉由高速撞擊中摧毀目標，這項「以彈制彈」的技術增加了攔截的難度。2010年和2013年均曾發生攔截器故障。在2013年7月的試射中，EKV甚至未能與助推火箭分離。但最新的試射趨勢在2014年6月扭轉，當時MDA看到了成功的攔截試射，其記錄達到了17項測試中的9項標準。2017年5月的試射進一步表明EKV的問題已排除。「齊射測試」增加了對EKV性能的信心。

MDA稍後也再為重新設計的EKV提供

6 Rich Abbott, "MDA Conducts First GBI Salvo Test", Missile Defense, Defense Daily, 2019/3/26, 檢索日期 2020/3/30, <https://www.defensedaily.com/mda-conducts-first-gbi-salvo-test/missile-defense/>。

資金，而且還在研發可以清除多個威脅目標的「多目標殺傷載具」。在獲得2019財會年度的全額專款後，MDA正在將阿拉斯加州格里利堡內兩座飛彈發射場的GBI數量增加到64座發射井⁷。MDA要求五角大廈在2020財會年度提供12億美元，以繼續擴展GMD系統，並將為20枚GBI配備新的EKV⁸。

三、成功攔截對外傳遞強烈信號

在前文所述的試射後第二天(2019年3月26日)MDA公布，針對目的在防禦北韓和伊朗ICBM威脅的關鍵一國土防禦系統，所進行的一次大規模攔截試射，稍早獲得了成功。隨著北韓彈道飛彈能力的不斷增長，MDA對「陸基中段防禦系統」(GMD)進行的這批試射獲得成功，是專門對那些可能的飛彈威脅而採取的回應⁹。這項試射標誌著「陸基中段防禦系統」首次突破ICBM的目標，儘管先前的一些試射採用的中程彈道飛彈模擬目標，已經接近於ICBM的速度，但此一測試更接近實戰模擬。

MDA與美國空軍第30太空聯隊合作進行的這項試射，是從馬紹爾群島附近的夸加林環礁的「雷根試射場」發射了ICBM等級的模擬目標。再從加州范登堡空軍基地按照

原本計畫發射「陸基攔截器」(GBI)，它的「外大氣層殺傷載具」(EKV)在直接撞擊中如期攔截並摧毀了目標。對於GMD系統而言，能夠攔截複雜的、具有威脅代表性的ICBM模擬目標是一項難得的成就，也是該計畫的重要里程碑。

在2017年5月時任MDA局長的吉姆·塞林海軍中將(Vice Adm. Jim Syring)在聲明中說，這批試射還採用了陸、海、空基多元情資偵蒐單元，以便GBI向目標進行指管、戰鬥管理和通信(C2BMC)系統提供目標獲取和追蹤數據，由漂浮在太平洋上的「海基X波段雷達」(SBX)鑒別並追蹤模擬目標、中繼數據，進而啟動GMD系統的戰備。試射的路徑圖像顯示了針對ICBM的GBI發射細節。最初的跡象表明，這批試射已達到其主要目的，但MDA的計畫官員將繼續根據遙測和試射期間獲得的其他數據評估系統性能。到2017年底，GMD系統由在阿拉斯加州格里利堡和加州范登堡的36座陸基攔截器組成，MDA已在同年底增加到44座攔截器的部署。這項採取EKV「撞擊獵殺」技術被再次驗證，針對反制ICBM實際可行。MDA在改善GBI戰備序列的可靠性和能力方面走了很

7 Ankit Panda, "Missile Defense Milestone: US Carries Out Successful 'Salvo' Interception of ICBM Target, The test marks the second-ever successful U.S. missile defense test against an ICBM-class target.", The Diplomat, 2019/3/26, 檢索日期2020/4/3, <https://thediplomat.com/2019/03/missile-defense-milestone-us-carries-out-successful-salvo-interception-of-icbm-target/>。

8 Jen Judson, "Homeland missile defense system takes out ICBM threat in historic salvo test", Defense News, 2019/3/25, 檢索日期2020/4/11, <https://www.defensenews.com/land/2019/03/25/homeland-missile-defense-system-takes-out-icbm-threat-in-historic-salvo-test/>。

9 Dinshaw Mistry, "European Missile Defense: Assessing Iran's ICBM Capabilities", Arms Control Association, 2008/8/29, 檢索日期2020/4/1, <https://www.armscontrol.org/act/2007-10/iran-nuclear-briefs/european-missile-defense-assessing-iran%E2%80%99s-icbm-capabilities>。

長的路，當局對於細節仍在討論中，但是這項試射的成績，的確為美國本土防禦的發展帶來正面的展望。

2014年6月，當時MDA曾進行了一批成功的攔截試射，如前文所述，其成績達到了17項測試中的9項合格標準，儘管其中一項不是「直接撞擊」，但仍攔截到目標。加上這批試射在內，自1999年至2017年5月底，MDA已經進行了18次實彈攔截試射，其中僅10次獲得成功。2014年MDA官員開始嚴肅質疑，需要採取什麼措施來讓該系統恢復正常，其中一種選擇，是放棄全套GBI的升級版本，而朝著更積極的方向重新設計EKV。到2016年1月，GMD系統成功完成了一次非攔截飛行測試，其目的在評估攔截器搭載的EKV中，重新設計的推進器的性能。曾有分析人士對此表示懷疑，認為這項測試只為了證明美國擁有針對北韓ICBM的國土飛彈防禦戰略。菲利普·科伊爾(Philip Coyle)是前五角大廈作戰測試和評估辦公室的主管，現在是「軍備控制中心」(Arms Control Center)的高級科學研究員。他就認為，根據其測試記錄，美國不能僅依靠這一項飛彈防禦計畫來保護國土免受北韓ICBM的攻擊。過度依賴飛彈防禦系統可能會阻礙外交斡旋努力，後者同樣可以避免危險對抗，從多個方面來看，這項測試是耗資2.44億美元的基

本步驟，這一步驟已歷時3年¹⁰。

換言之，在美國國防預算大幅縮減的當下，外交斡旋可能還可節約大筆預算。MDA計畫在2018年撥款近10億美元用於國土飛彈防禦。MDA在2017年5月中旬發布的2018財會年度預算中，為GMD系統請款達8.281億美元。作為重新設計的EKV的一部分經費，MDA要求國防部提供4.655億美元用於改進GBI，並且改善攔截器在飛行中的通信品質，更善於利用外部傳感器數據。GMD系統的另一項主要測試計畫已在2018財會年度進行，這是該系統的首次運行飛行測試。包括使用加州范登堡基地發射的GBI，對來自夸加林環礁雷根試射場的模擬ICBM威脅進行多發的「齊射測試」¹¹。

陸基飛彈防禦系統的再發展

上個世紀80年代美國雷根政府的「戰略防禦計畫」(SDI)，假想使用了搭載雷射定向能武器的衛星，作為低成本效益和高生存性的飛彈防禦系統，待1990「蘇聯」瓦解時，美國已投資在發展有關SDI的高端技術和龐大資金，讓美國在冷戰後登上了對海外工業與金融影響力的高峰，而這種影響，也持續反映在盟國部署反飛彈系統的實際作為上。

可單獨定位導航的「重返大氣層載具」

10 Anna Fifield, "Will North Korea fire a missile capable of hitting the U.S. mainland? Probably.", The Washington Post, 2017/4/5, 檢索日期2020/3/31, <https://www.washingtonpost.com/news/worldviews/wp/2017/04/05/will-north-korea-fire-a-missile-capable-of-hitting-the-u-s-mainland-probably/>。

11 Jen Judson, "Missile takedown: Historic ICBM intercept test sends strong message to North Korea", Defense News, 2017/5/30, 檢索日期2020/4/3, <https://www.defensenews.com/space/2017/05/30/missile-takedown-historic-icbm-intercept-test-sends-strong-message-to-north-korea/>。

(RKV)的問世，與近年來開始服役的超高音速彈道飛彈和巡弋飛彈的部署，不斷突破了軍事大國的成本效益考量，也兼顧了反彈道飛彈防禦系統的生存性，尤其俄羅斯和中共都相繼投入巨資開發了一系列陸基、空基和海基飛彈防禦技術和系統，這讓美國的飛彈防禦局(MDA)需要從已部署的防空系統中再行調整，配合新尋標器和攔截彈的生產予以因應。將戰區層級原本用於反擊中程彈道飛彈(約3 km / s飛行速率)，為半徑幾百公里提供防禦性覆蓋之「薩德」(THAAD)系統¹²轉用於本土防禦成為一個新的選項。

一、美國國防部描述飛彈防禦的進展

飛彈防禦局局長、美國海軍中將鍾·希爾(Jon A. Hill)3月3日在華盛頓舉行的第11屆年度「麥克阿利斯國防計畫會議」(McAleese Defense Programs Conference)上說：「一旦發生了與敵對國的戰爭，飛彈將快速機動。而美國無論在防情傳遞架構、射控和飛彈攔截器各方面都很耐用」¹³。因此，MDA正在計畫建造下一代的攔截器和天基傳感器，以追蹤超高音速武器等快速移動和

快速機動的威脅目標。為研發成本和海外利益的考量，與以色列和日本進行的相關合作。這些夥伴關係對美國和國際工業基地來說非常有用，五角大廈正在尋找共享數據、程序、測試和操作的方法。

因此，MDA現正在建立一套稱為「戰鬥指管通信」的系統，該系統的概念彷彿是對彈道飛彈攔截的「聯合管理」模型，將使操作員能夠在各種反彈道飛彈系統(例如：終端高空防禦系統—薩德、愛國者III、標準6和「神盾」)之間傳遞指管情資¹⁴。SM3 Block 1B飛彈目前正在生產，這套系統用於船艦和岸基「神盾」各站點點指管的中段接戰。至於SM3Block 2A是美國與日本合作開發的艦用飛彈。它將在2020年稍後針對洲際彈道飛彈目標進行測試¹⁵。升級版的長程預警雷達也已在阿拉斯加州建造完成。

國防研究與工程部對飛彈防禦的立場顯得更為積極。五角大廈針對下一代的飛彈攔截器發出了3項情資要求和2份建議書草案，國防採購程序將很快結束。這將是MDA規劃的陸基攔截系統之核心，當局還希望設計

12 David Hafemeister, 2007. Physics of Societal Issues: Calculations on National Security, Environment and Energy(New York City : California Polytechnic State University), p.71.

13 David Vergun, "DOD Officials Describe Layered Missile Defense Progress", DOD News, 2020/3/5, 檢索日期2020/3/18, <https://www.whs.mil/News/News-Display/Article/2103578/dod-officials-describe-layered-missile-defense-progress/>。

14 Stephen Kuper, "The layers of modern missile defense", key enablers, Defense Connect, 2019/4/18, 檢索日期2020/3/12, <https://www.defenceconnect.com.au/key-enablers/3925-the-layers-of-modern-missile-defence>。

15 Andreas Parsch, "Directory of U.S. Military Rockets and Missiles, Raytheon RIM-161 Standard SM-3", 2009/6/24, 檢索日期2020/4/3, <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-161.html> ; MDAA, "Raytheon to deliver SM-3 interceptors to US Missile Defense Agency", Missile Defense Advocacy Alliance 2020, 2020/3/31, 檢索日期2020/4/6, <https://missiledefenseadvocacy.org/missile-defense-news/raytheon-to-deliver-sm-3-interceptors-to-us-missile-defense-agency/>。

生產接戰能力更強的THAAD¹⁶。另也考量到超高音速武器的部署，它的飛行速度比音速快5倍(以上)，機動性強且難以追蹤，俄羅斯和中共目前正在生產這些軍備。特別是中共的超高音速武器威脅正日趨嚴峻，超出了美國預警雷達可偵測的範圍。

此外，追蹤這些武器是一個新問題。西太平洋不能佈滿陸基雷達，因為本區主要是海洋，將它們放在各座島上將使它們成為甚鮮明的目標。因此，對飛彈的獲得、追蹤和射控等問題的解決方案，將必須由太空(天基)設備解決，這意味著必須將防情傳感器放到太空中，才能追蹤這些「在地球電波混亂的情況下非常不明顯的目標」。對此，MDA、太空發展局和國防高級研究計畫局正在共同進行科學研究。美國也有自己的計畫推出超高音速武器，該技術已接近於把火箭加速成為「超高音速滑翔飛行器」的發展階段，下一步將是生產可攜帶更重有效載荷的進氣式超音速飛行器(超高音速載具)。

超高音速武器的技術關鍵，將是開發熱防護系統，讓載具從太空高速重返進入地球大氣層並加熱時，它能提供防護，此外，五

角大廈正在為超高音速滑翔載具即將推出的日程做準備¹⁷。雖然美國已在趕製這些武器，但美國的對手正在累積成千上萬的同級武器，因此，未來將大規模投資超高音速軍備，金額將達數十億美元。

二、爭取新攔截彈的尋標器設計工作

洛克希德·馬丁公司(Lockheed Martin)為美國陸軍建造了終端高空防禦(THAAD；薩德)武器系統，該公司已經與貝宜(BAE Systems)簽署了一份合約，為該系統的飛彈攔截器設計和製造下一代尋標器。新傳感器的設計工作將提高飛彈防禦系統效能，抵消更多威脅並且提高其相關工業製造的能力。

THAAD系統是美國陸軍分層飛彈防禦架構的一部分，目前屬於「戰區級」反彈道飛彈裝備，可防範3,000公里範圍內(第2島鏈)的目標，目前具有對來襲飛彈飛行的最終階段攔截，減低彈道飛彈的威脅，但是飛彈防禦局也希望將THAAD系統做為未來國土防禦體系的一部分¹⁸。BAE已經為THAAD系統提供了新尋標器，該系統使用紅外線圖像引導攔截器飛向威脅目標，該公司迄今為止已經交付了500多枚THAAD尋標器。

16 Transcript, “Department of Defense Press Briefing on the President's Fiscal Year 2021 Defense Budget for the Missile Defense Agency”, U.S. Department of Defense, 2020/2/10, 檢索日期2020/3/14, <https://www.defense.gov/Newsroom/Transcripts/Transcript/Article/2081326/departments-of-defense-press-briefing-on-the-presidents-fiscal-year-2021-defense/>。

17 Release, “Department of Defense Tests Hypersonic Glide Body”, U.S. Department of Defense, 2020/3/20, 檢索日期2020/3/15, <https://www.defense.gov/Newsroom/Releases/Release/Article/2119458/departments-of-defense-tests-hypersonic-glide-body/fbclid/IwAR00CvdL8OgKa3YAYIAHqU6vrxikNECskrVwMHHJ3MZdsLBizIwX8YRO4/>。

18 MDAA, Forbes, “Why The Pentagon's THAAD Missile Defense System Is Becoming Critical To Protection Of The U.S. Homeland”, 2020/3/23, 檢索日期2020/3/14, <https://missiledefenseadvocacy.org/missile-defense-news/why-the-pentagons-thaad-missile-defense-system-is-becoming-critical-to-protection-of-the-u-s-homeland/>。

BAE在新罕布什爾州納舒亞(Nashua)和紐約恩迪科特(Endicott)建有尋標器生產廠房的同時，該公司還計畫在阿拉巴馬州亨茨維爾(Huntsville)，即「紅石兵工廠」的所在地，以及美國陸軍的飛彈和太空計畫中進行下一代尋標器的設計工作，也正在興建一個先進的廠區，該廠房將在亨茨維爾提供「頂尖的」設計程序。雖然美國陸軍計畫在未來繼續使用THAAD，但MDA卻打算在2021財會年度撥款2.736億美元用於THAAD的進一步發展工作，包括THAAD用於國土防禦層級¹⁹。

具體來說，MDA要求在下一個財會年度撥款1.39億美元，以開始發展和示範THAAD的新型攔截器的原型飛彈，若如願，這將支持對國土防禦的分層級化。MDA正在釐清如何發展可對付洲際彈道飛彈的THAAD攔截器，在2月份公布美國的2021財會年度國防預算要求時，MDA還試圖從為沙烏地阿拉伯製造的THAAD中提出有力的說帖²⁰。和「標準6」或「岸基神盾」相同，站在系統的成本考量，MDA也在研究現有和國外的工程貿易可行空間。現在還不知道是否會考慮將升級的推進器提供給射程增長

型THAAD，也許在新尋標器中有某項裝備可以在國際貿易領域為美國帶來更多收益。THAAD攔截器計畫是2021財會年度預算申請的新起點，五角大廈正在努力研究該計畫的全面樣貌若何。

三、新攔截器的需要已迫在眉睫

由於五角大廈決定不再為陸基中段防禦(GMD)系統製造更多的陸基攔截器，所有未來新的攔截器將成為新GMD系統的一部分，包括既有的系統。中、俄的「重返大氣層載具」(RKV)會敦促美國積極升級國土防禦系統的攔截器。MDA主張向工業界提出的下一代攔截器提案的請求被延遲了幾個月，局長希爾(Jon Hill)在2019年8月取消了重新設計的獵殺性載具計畫後，形同把「國家陸基攔截器」(NGI)競賽的局面複雜化。對此，MDA通過了「聯合需求監督委員會」，而不是「作戰部隊常務委員會」，後者是以作戰指揮為重點，顯然現階段當局比較重視聯合研發和裝備獲得²¹。這樣的行政架構會使人們意識到「MDA的要求是偏重技術性的層面」。MDA從美國北方司令部的作戰角度著眼於需要的軍備，首要需求是盡快擁有新THAAD攔截器以因應潛在威脅。

19 Jen Judson, "BAE nabs next-gen seeker design work for US Army's missile defense system", Army Modernization Priorities, Defense News, 2020/3/17, 檢索日期2020/4/3, <https://www.defensenews.com/smr/army-modernization/2020/03/17/bae-nabs-next-gen-seeker-design-work-for-us-army-missile-defense-system/>。

20 Jason Sherman, "MDA awards Lockheed nearly \$1B THAAD contract for Army, Saudi Arabia", Inside Defense, 2020/3/26, 檢索日期2020/4/3, <https://insidedefense.com/daily-news/mda-awards-lockheed-nearly-1b-thaad-contract-army-saudi-arabia>。

21 Jen Judson, "Next-Generation Interceptor request for proposals delayed but 'imminent'", Army Modernization Priorities, Defense News, 2020/3/4, 檢索日期2020/4/5, <https://www.defensenews.com/pentagon/2020/03/04/next-generation-interceptor-request-for-proposals-delayed-but-imminent/>。

在決定了體制之外，MDA希望盡快交付第一批攔截器。但這也意味著當局不能在設計、需求或飛行測試制度中走捷徑，因為如果想節省時間，那就和一般軍備獲得程序沒區別，所以必須有策略，要藉此引起業界關注並致力於確定可行的獲得時間表。MDA已與國防部副部長進行了研究和工程的最終審查，並在批准這項採購計畫之前對

最後幾條評論進行裁定。MDA的陸基攔截器反覆遭受測試失敗，同時又將它們置放在阿拉斯加州的格里利堡和加州范登堡空軍基地的發射艙中，這讓MDA希望重新設計攔截器的彈頭，得從飛彈倉儲中取出。由此推估THAAD新攔截器的飛行測試時間表看似將在2025年至2026年內進行²²。(圖2)(圖3)(表1)

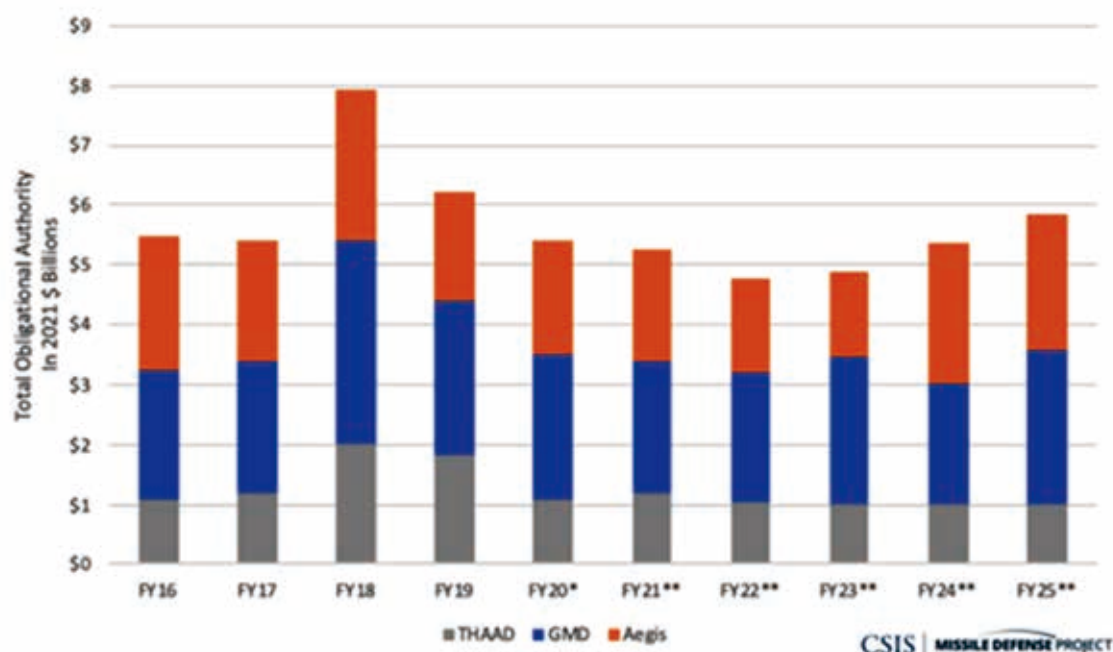


圖2 2016~2025年度美國國防部飛彈防禦局「薩德」(灰)、「陸基中段防禦系統」(藍)與「神盾」(橘)雷達建置部署預算表。

資料來源：Tom Karako, Wes Rumbaugh, “Inflection Point: Missile Defense and Defeat in the 2021 Budget”, CSIS Briefs, 2020/3/22, 檢索日期2020/4/4/, <https://www.csis.org/analysis/inflection-point-missile-defense-and-defeat-2021-budget>。

22 Department of Defense, 2018. Program Acquisition Cost by Weapon System, United States Department of Defense Fiscal Year 2019 Budget Request (D.C. : Office of the Under Secretary of Defense (Comptroller) / Chief Financial Officer February Jan. 29. 2018), p.52~58.https://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/fy2019/FY2019_Weapons.pdf。

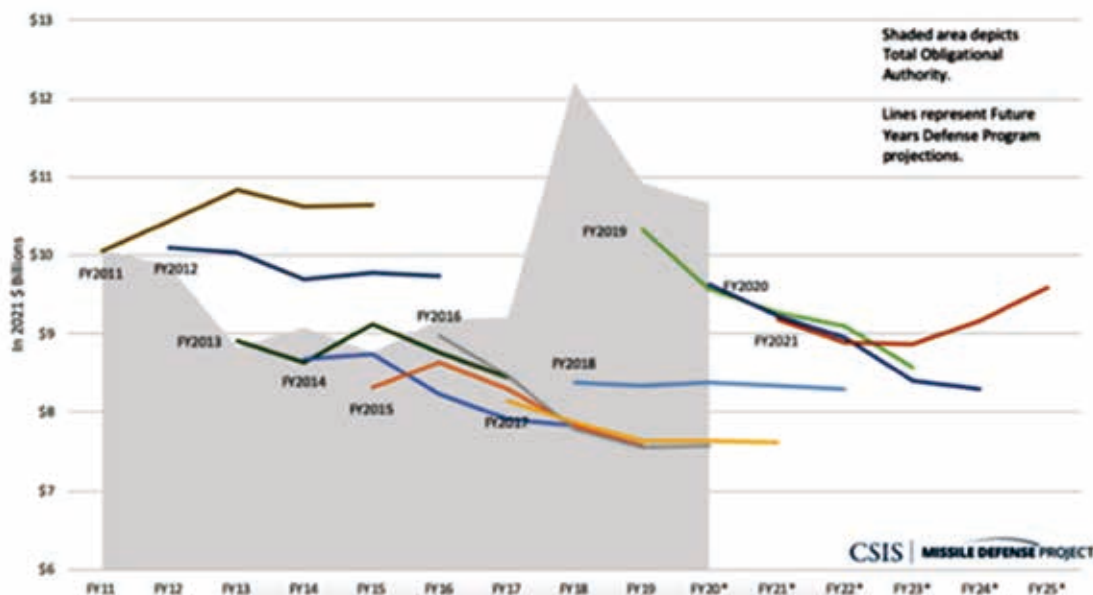


圖3 美國飛彈防禦局2011~2025年度預算增長趨勢圖(2021年美元估算)。

資料來源：同(圖一)

表1 飛彈防禦局隨著各年度的預算實際撥款。(以10億美元為單位)

	FY11	FY12	FY13	FY14	FY15	FY16	FY17	FY18	FY19	FY20	FY21	FY22	FY23	FY24	FY25
是年美元價值	\$ 8.4	\$ 8.4	\$ 7.7	\$ 8.0	\$ 7.9	\$ 8.3	\$ 8.5	\$ 11.5	\$ 10.5	\$ 10.5	\$ 9.2	\$ 9.1	\$ 9.2	\$ 9.7	\$ 10.4
2021年度美元估算	\$ 10.1	\$ 9.9	\$ 8.8	\$ 9.1	\$ 8.8	\$ 9.2	\$ 9.2	\$ 12.2	\$ 10.9	\$ 10.7	\$ 9.2	\$ 8.9	\$ 8.9	\$ 9.2	\$ 9.6

資料來源：同(圖一)

海基反飛彈系統的部署

3月19日，美國海軍第7艦隊所轄的「夏洛號」巡洋艦(USS Shiloh；CG-67)²³在菲律

賓海試射了一枚「標準」II(SM-2 Block IIIB)飛彈²⁴；僅5天後的3月24日，另一艘「巴瑞號」驅逐艦(USS Barry；DDG-52)²⁵也在同一海域發射了另一枚SM-2 Block IIIB²⁶，新聞

23「夏洛號」巡洋艦(CG-67)隸屬於第7艦隊轄下第5航艦打擊群編制，其他船艦包括「雷根號」航艦(CVN-76)、「巴瑞號」驅逐艦(DDG-52)、「約翰·麥凱號」驅逐艦(DDG-56)、「麥克坎貝爾號」驅逐艦(DDG-85)、「瑪斯汀號」(DDG-89)和「第5艦載機聯隊」(CVW 5)共同編成，以上驅逐艦隊由「第15驅逐艦支隊」支援任務編組，U.S. 7th Fleet, 2017/5/16，檢索日期2020/4/3，<https://www.c7f.navy.mil/Media/News/Display/Article/1184673/carrier-strike-group-5-begins-2017-regional-patrol/>。

24Staff Writer, “U.S. Navy Cruiser USS Shiloh Launches SM-2 Missile During Live-Fire Exercise”, Def Post,

界解讀為「美軍在南海向中共示警」，但在3月31日，雷神公司就公布向飛彈防禦局交付第一枚SM-3 Block IB，顯示美國以實彈試射向對手展現海基反彈道飛彈系統的進度無礙。而雷神已經從MDA獲得了21億美元的合約，以生產和交付SM-3 Block IB攔截器。這是SM-3計畫從2019～2023財會年度的第1個多年期合約。

SM-3是美國唯一能夠在陸地和海上發射的彈道飛彈攔截器。它被美國海軍用來摧毀短程彈道飛彈(SRBM)和中程彈道飛彈(IRBM)。美國部署在世界各地的彈道飛彈，已經成功進行了30多枚外大氣層攔截。2017年，SM-3 Block IB衍生型展開量產。在該計畫的整個軍備生命週期中，雷神公司已成功交付了400多枚SM-3²⁷。

美國共和黨人控制眾議院時，眾議院通過了2018財會年度《國防授權法案》(NDAA)，其中一項規定包括，要求美國在2020年12月31日之前對一個簡單的洲際彈道飛彈目標，測試SM-3 Block IIA。但是隨著國會領導階層的變化，由民主黨控制的眾議

院通過了2020財年NDAA和《眾議院國防撥款法案》。眾議院最近通過的兩項法案，均阻止了五角大廈對ICBM模擬目標試射SM-3 Block IIA。國會將發送給川普總統的辦公室，預計簽署最終法案版本應獲得支持該項試射。如果美國可以針對ICBM展示SM-3 Block IIA的能力，就能在多方面助益良多。美國還可以選擇將其部署在本土，以加強對「戰區」層級(夏威夷到關島)的保護。

值得注意的是，GMD可以防護美國免於受到從地球上任何地方發射的ICBM的威脅。原計畫部署的陸基攔截器(GBI)的數量顯示，它的規模足以抵禦少量ICBM，這也透露著，它目前已是最適於攔截ICBM的反飛彈系統，尤其是對北韓。在美國的某些防區和屬地增加不同的攔截器，可以補充GMD系統。部署的最初設計是為攔截小於ICBM射程的飛彈，並且與GMD分層級的其他攔截器系統通用。如用川普政府《飛彈防禦評論》(MDR)的話說，可以減輕GBI系統的負擔，同時為國土提供持續的保護，免受敵對國家的長程飛彈攻擊。

2020/3/21, 檢索日期2020/4/10, <https://defpost.com/us-navy-cruiser-uss-shiloh-launches-sm-2-missile-live-fire-exercise/>; <https://twitter.com/INDOPACOM/status/1244664684818513922>。

25 巴瑞號驅逐艦(DDG-52)隸屬於第7艦隊轄下第15驅逐艦支隊編制, U.S. 7th Fleet, 2019/9/22, 檢索日期2020/4/3, <https://www.c7f.navy.mil/Media/News/Display/Article/1967566/desron-15-holds-change-of-command-ceremony/>。

26 Minnie Chan, “US Navy launches live-fire missiles in ‘warning to China’”, South China Morning Post, 2020/3/24, 檢索日期2020/4/11, <https://www.scmp.com/news/china/military/article/3076768/us-navy-launches-live-fire-missiles-warning-china>; <https://www.facebook.com/USPacificFleet/photos/a.141807462969/10158011650792970/?type=3&theater>。

27 News, “Raytheon to deliver SM-3 interceptors to US Missile Defense Agency”, Naval Technology, 2020/3/31, 檢索日期2020/4/11, <https://www.naval-technology.com/news/raytheon-to-deliver-sm-3-interceptors-to-us-missile-defense-agency/>。

一、RIM-161A「標準」III型飛彈發展概要

長年由雷神公司研製的「標準」III型飛彈(SM-3)是RIM-156 Standard SM-2 Block IV的衍生產品，目前為美國海軍戰區彈道飛彈防禦系統的攔截器單元，簡稱為NTW-TBMD(海軍戰區—戰區彈道飛彈防禦系統)，擔任外大氣層彈道飛彈防禦武器，主要功能在於攔截(中段和終端)短程和中程彈道飛彈。SM-3最初是對SM-2 Block IVA的補充，後者在2001年12月停產。現代化研改的「神盾」戰系軟體，讓SM-3可以和較低階的SM-2和新的SM-6飛彈共用。

SM-3的軍用型號為RIM-161A，使用基本的SM-2 Block IVA彈身和推進火箭，並增加了第3級火箭發動機(又名「高級固態同軸向位階層」ASAS，由「聯盟技術系統公司」Alliant Techsystems製造)，常態搭載一具全球定位與慣性導航GPS / INS儀(又稱GAINS，GPS輔助慣性導航系統)和一枚LEAP(輕型化外大氣層投射彈體)搭載的動能彈頭(非爆炸性撞擊彈頭)。SM-3攔截器改用另一具固態燃料的第3級火箭和紅外線尋標器動能殺傷載具(也稱為LEAP)，取代了SM-2原使用的爆炸彈頭和雷達尋標器。

LEAP使用前視紅外線(FLIR)感應器定位目標，並在1992年至1995年進行了名為「小獵犬(Terrier)/ LEAP」的4批實彈試射。這個系列的試射使用了改良型「小獵犬」和「標準」II飛彈。在這批試射中曾嘗試進行兩次攔截，但LEAP均未擊中目標。RIM-161A定名為SM-3的第一次飛行試射，在1999年9月進行，而第三次試射於2001年1月進行，

均證明了飛彈飛行無礙，還可以控制到第4級(即動能彈頭)的脫離。2002年1月，SM-3的首次全功能試射，成功攔截了白羊座彈道飛彈靶彈。包括2008年2月的反衛星試射在內，SM-3成功完成了36次攔截中的28次。

二、新衍生型飛彈發展

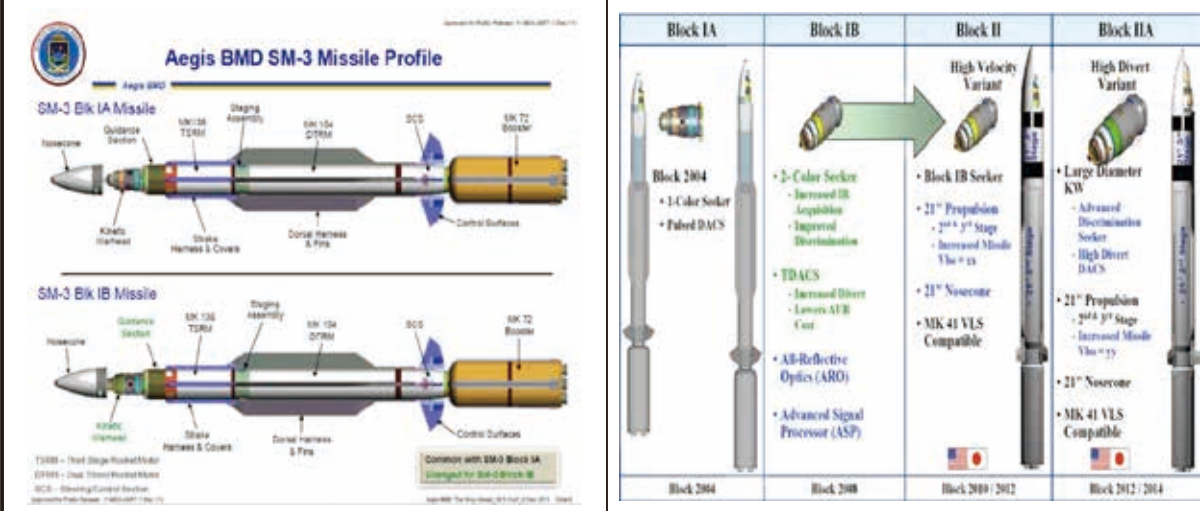
從2008年歐巴馬政府以降，五角大廈將歐洲的防禦策略，從依靠位於波蘭的地面中段防禦攔截器，轉換到實施新的「歐洲分階段自適應進程」(EPAA)，其中，「神盾」BMD成為其核心軍備。當前為EPAA的第1階段和第2階段部署的系統，是帶有SM-3 Block IA和IB攔截器的陸基「神盾」BMD 3.6.1、4.0.1和5.0版戰系軟體。EPAA的第3階段在2018年將新製造的SM-3 Block IIA攔截器和「神盾」BMD 5.1系統研發、測試和部署到歐洲北約前沿。

為了滿足EPAA第3階段設定的任務內容，美國海軍正在與日本合作研發和測試SM-3 Block IIA攔截器。這種攔截器具有更長的射程和更高的速度，可以更有效地攔截快速移動的中程彈道飛彈。2015年6月，Block IIA進行了首次飛行試射，它放置在彈頭鼻錐罩內的攔截器成功展示了第3階段的飛行。同年12月，SM-3 Block IIA再次進行了飛行試射，藉由動能彈頭成功證明了彈射性能。

在兩次成功的飛行試射之後，SM-3 Block IIA於2017年2月4日成功進行了攔截試射，但是升級後的攔截器在2017年6月22日的預定攔截試射中，卻未能成功攔截目標靶彈。此後，SM-3 Block IIA繼續進行試射

，直到在2020年按計畫部署為止，屆時「神盾」BMD 5.1版預計將在美國海軍驅逐艦和在波蘭的「陸基神盾」(也稱「岸基神盾」Aegis Ashore)站位上採用Block IIA攔截器²⁸。

表2 RIM-161A飛彈性能諸元

彈身全長(含推進器)	6.55公尺 (21呎6 吋)
控制翼全幅	1.57 公尺 (61.8 吋)
彈身直徑	0.34 公尺 (13.5 吋)
全重	保密資料
速度	9,600 公里/小時 (6,000 哩)
升限	低於160公里 (100 英哩)
射程	低於500公里 (270 海哩)
推進器	推進火箭：聯合技術公司Mk 72 固態燃料火箭助升火箭：大西洋研究機構Mk 104 雙推進固態火箭第3級火箭：聯盟技術系統Mk 136 固態燃料火箭
彈頭	撞擊式動能彈頭 (千瓦級)
★神盾BMD 4.0版用SM-3 Blk IA/B結構比較圖改良「動能彈頭」與「推進火箭」	★雷神SM-3 Blk IA/B至SM-3 Blk IIA/B改良衍生圖，改良彈頭尋標器與高空飛控(DACS)
 The diagram illustrates the Aegis BMD SM-3 missile profile and the evolution of its Block variants. The top section shows the SM-3 Blk IA and SM-3 Blk IB missile profiles with labeled components: Nosecone, Guidance Section, SR 136 TSM, Staging Assembly, SR 104 DTRM, BCS, SR 72 Booster, Kinetic Warhead, Stage Harness & Covers, Control Surfaces, and SR 136 DTRM. The bottom section compares four Block variants: Block IA, Block IB, Block II, and Block IIA. Block IA features a 2-Color Seeker, Increased IR Acquisition, Improved Discrimination, and a Pulsed DACS. Block IB includes a 3-Color Seeker, Increased IR Acquisition, Improved Discrimination, TBACS, Increased Divergence, Lower ATR Cost, AB-Reflective Optics (ARO), and an Advanced Signal Processor (ASP). Block II is a High Velocity Variant with a Block IB Seeker, 21" Propulsion (2nd & 3rd Stage), Increased Missile Yaw, 21" Nosecone, and MK 41 VLS Compatibility. Block IIA is a High Divergence Variant with a Large Diameter KW, Advanced Discrimination Seeker, High Divergence DACS, 21" Propulsion (2nd & 3rd Stage), Increased Missile Yaw, 21" Nosecone, and MK 41 VLS Compatibility. The diagram also includes a note: 'Common with SM-3 Block IA Improved for SM-3 Block IB'.	

資料來源：Andreas Parsch, “Raytheon RIM-161 Standard SM-3”, Directory of U.S. Military Rockets and Missiles, 2009/6/24, 檢索日期2020/4/11, <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-161.html>。

28 Andreas Parsch, “Raytheon RIM-161 Standard SM-3”, Directory of U.S. Military Rockets and M issiles, 2009/6/24, 檢索日期2020/4/11, <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-161.html>。

三、SM-3 Block IIA攔截ICBM之可行推估

儘管川普政府的《導彈防禦評論》(MDR)在書面上大幅改良了歐巴馬政府時代的飛導彈防禦計畫和願景，但向國會提出的預算要求表明，幾乎沒有任何新的舉措可以將願景實現。其中一步是用SM-3 Block IIA對跨洲際目標進行試射，預計應該得到國會兩黨的支持。它的目的雖然在明顯增加防禦範圍，並且協助日本防禦北韓的中程彈道飛彈，然而，越來越清楚的是，SM-3 Block IIA具有潛力攔截洲際射程的長程飛彈。

美國應該盡可能收集對手飛彈的關鍵數據，藉之測試IIA衍生型飛彈，並且證明這些成果只有在模擬試射和數學模型中才能觀察到，美國國會直到最近才指示五角大廈進行這些步驟。而且SM-3 Block IIA並不是在一旦遭飛彈襲擊時可能會使用的唯一系統。早在2009年，北韓展開飛彈挑釁時，時任國防部長的羅伯特·蓋茨(Robert Gates)就曾宣布美國正在加強防禦措施，包括將THAAD重新部署到夏威夷。時間快速推進到川普的MDR也指出：假使，當飛彈危機時，愛國者和THAAD系統以及配備SM-3 Blk IIA的攔截器，和具有多功能的「神盾」BMD艦隊，將迅速進入戰位，以加強美國對抗流氓國家的飛彈威脅。儘管川普政府努力藉由談判減輕北韓核飛彈的威脅，但北韓並未取消其核武計畫，既沒有暫停短程飛彈試射，也沒有停止對美國外交工作級別的談判。

正如川普MDR中所指出：飛彈防禦可以加強外交。美國飛彈防禦系統越可靠，美國外交官與北韓政權進行談判的權力就越大。只要美國的對手繼續改良飛彈性能，擴散和擴大其飛彈力量，美國就必須不斷適應、擴大和改良自身的防禦力量。此外，為了攔截來自中共和俄羅斯研製更複雜的非彈道飛彈(超高音速武器)威脅，美國將不得不以新的方式利用現有技術，與製造全新的攔截器和防情單元做為對應之策。但是，來自各種潛在對手的彈道飛彈的威脅仍在繼續中。五角大廈至今已經向SM-3 Block IIA計畫投資了1.21億美元，按照指示評估其抵抗ICBM的能力²⁹。

長程預警雷達升級的戰略

早從上個世紀80年代的美蘇「冷戰」時代起，為了監控蘇聯洲際飛彈的發射活動，美國以「戰略空軍司令部」轄下編成了第一代的長程預警雷達，配合各軍種的戰略核武力量，以期對蘇聯產生威懾效用，從西北歐逐漸延伸至北亞，將蘇聯核武發展的軌跡限制在北緯30度以北的歐亞大陸內，這些雷達系統分別稱為「相位陣列預警系統」(第一代的「鋪路爪」PAVE PAWS；亦即Precision Acquisition Vehicle Entry Phased Array Warning System的縮寫)和「彈道飛彈預警系統」(BMEWS；Ballistic Missile Early Warning System)，這個階段的技術，象徵了

29Rebecca L. Heinrichs, "Let's See If the SM-3 Block IIA Can Hit an ICBM", Real Clear Defense, 2019/9/6, 檢索日期2020/4/10, https://www.realcleardefense.com/articles/2019/09/06/lets_see_if_the_sm-3_block_ii_a_can_hit_an_icbm_114726.html。

對飛彈長程預警和對內太空監視的雷達、分析雷腦和通信系統的充分應用。

近年來，由於俄羅斯一直在致力於恢復昔日蘇聯時代的核武力量，中共也在加快超高音速武器的研發，敦促了美國展開新一代長程預警雷達的部署，因此，華府制定了「長程鑒別雷達」(LRDR；Long Range Discrimination Radar)的計畫作為因應之道，在美國「飛彈防禦局」(MDA)編成的2018財會年度預算文件中揭露稱，LRDR將在2個個別的項目中建造。第一階段已於2017財會年度開始，包括：偽裝用途的屏蔽任務管控設施和雷達結構基座，估計成本為1.55億美元。第二階段於2020財會年度展開，包括：建造一座附帶燃料儲存和支援設施的發電廠，全部費用估計為1.5億美元，它們仍以各種新單元整合成新系統，為美國新的長程預警雷達勾勒出樣貌³⁰。

一、新長程預警雷達系統的編成

這種新的長程預警雷達稱為「固態相位陣列雷達系統」(SSPARS；Solid State Phased Array Radar Systems)，仍將由「飛彈防禦局」的雷達專家擔任維護、升級，並且運作成為一個全球分佈式的雷達網路，以資提供對飛彈防禦和對敵彈道飛彈發射與太空潛在威脅的預警³¹。日前，甫由位於科羅拉多州派特森空軍基地的美國空軍第21合約中隊，向維吉尼亞州斯特林郡的國防承包商撥給5140萬美元的訂單，以期責成廠商未來2年的管理、操作、維護和後勤支援。SSPARS的站點位於5個不同的站位：美國西岸加利福尼亞州比爾空軍基地(Beale AFB)；美國東岸麻塞諸塞州空軍基地的鱈魚角(Cape Cod, AFS)；阿拉斯加州的克里爾空軍駐防站(Clear AFS)；英格蘭菲林代爾皇家空軍駐地(RAF Station Fylingdales)；和格陵蘭的圖勒空軍基地(Thule AB)。(表3)(圖4)

表3 美國空軍「鋪路爪」彈道飛彈預警雷達型號與部署位置

裝備型號	駐防基地	啟用時間
雷神AN/FPS-123 鋪路爪雷達	加州比爾空軍基地 (美國西岸)	1980/4/4時為FPS-115
雷神AN/FPS-123 鋪路爪雷達	麻州鱈魚角駐地 (美國東岸)	1980/4/15時為FPS-115
雷神AN/FPS-120 固態相位陣列雷達	圖勒空軍基地 (格陵蘭)	1987年啟用由FPS-115升級
雷神AN/FPS-126 固態相位陣列雷達	菲林代爾空軍駐地 (英格蘭)	1989/8~1992/10建造由FPS-115升級

30 John Pike, "Long Range Discrimination Radar (LRDR)", Global Security, 2019/8/10, 檢索日期2020/2/15, <https://www.globalsecurity.org/space/systems/lrdr.htm>。

31 Bert Chapman, 2008. Space Warfare and Defense: A Historical Encyclopedia and Research Guide (Santa Barbara, California : ABC-CLIO), p.153.

雷神AN/FPS-120 固態相位陣列雷達	克里爾空軍駐防站 (阿拉斯加州)	1987啟用舊天線1998/4/16升級
AN/FPS-115 PAVEPAWS陸基相位陣列雷達	AN/TPY-2 前沿部署基地雷達	
高峰功率：1,792個主動元件325瓦 = 582.4千瓦(Kw)	天線寬度：9.2公尺	
工作比率：25%(搜索11%，追蹤14%)	天線面積：9.2平方公尺	
平均功率：145.6千瓦	工作頻率：8~10 GHz	
有效發射效能：37.92分貝(dB)	工作電力：2.1 MW	
主動雷達直徑：22.1公尺	雷達和信號處理的電力：1.1兆瓦	
工作頻率：420兆赫(MHz)至450 MHz	發射單元數量：25,334	
雷達探測範圍：5,556公里(3,000海浬)	探測範圍：1,000公里	
工作波長：0.69公尺時435 MHz	工作波段：X Band	
雷達旁瓣：-20 dB(第一) -30 dB(第二) -38 dB(平方根)	俯仰角機械轉動：0°~90° 俯仰角及方位角：0°~50°	
相位天線傾斜角度：20度	方位角轉動範圍：-178°~+178°	
相位天線矩陣面數：2	雷達截面積(RCS)：1平方公尺	
3 dB波束寬度：2.2度	全長13公尺；總重34公噸	
		

資料來源：Editor in Chief Merrill I. Skolnik, 1990. Radar Handbook, 2nd Edition (New York : McGraw-Hill, Inc), Chapter 25.9 ; Robert Sherman, “AN/FPS-115 PAVE PAWS Radar”, FAS , 2000/3/6, 檢索日期 2020/3/18, <https://fas.org/spp/military/program/track/pavepaws.htm> ; <https://en.wikipedia.org/wiki/TPY-2> 。



圖4 美國空軍「鋪路爪」(PAVE PAWS)預警雷達與「彈道飛彈預警系統」(BMEWS)偵測涵蓋圖，現已升級為「固態相位陣列雷達系統」(SSPARS)，正式名稱為「升級版預警雷達」(UEWR)。

資料來源：Wikipedia, 2019/10/23, 檢索時間2020/3/14, https://en.wikipedia.org/wiki/Solid_State_Phased_Array_Radar_System。

這套簡稱SSPARS的預警系統可以追蹤來自全世界可能會飛往美國領土的所有洲際彈道飛彈。國防承包商也即將開始測試耗資3.75億美元的雷達裝備，全套設施已在阿拉斯加州的克里爾駐防站接近完工，2020年春天就會展開測試LRDR的性能，LRDR的主要結構上安裝10具稱為「面板」的大型陣列天線，高達27呎。與現有的雷達系統相比，這10具面板將讓LRDR能夠更準確地探測和追蹤飛來的敵方彈道飛彈。此外，LRDR收集的情資數據，將為阿拉斯加州格里利堡(Fort Greely)的飛彈預警基地等設施，傳遞比目前更好的態勢感知(situational awareness)能力，這是美國目前防禦中、俄彈道飛彈的前哨³²，飛彈防禦局已表示，LRDR將於2020年年底投入戰備使用³³。

二、SSPARS的組成單元

承前文，固態相位陣列

32 MDAA, KUAC, “Advanced Missile-Defense Radar Facility at Clear Air Force Station Nears Completion”, Missile Defense Advocacy Alliance 2020, 2020/3/11, 檢索日期2020/3/19, <https://missiledefenseadvocacy.org/missile-defense-news/advanced-missile-defense-radar-facility-at-clear-air-force-station-nears-completion/>。

33 Richard Abbott, “Lockheed Martin And MDA Finish LRDR Critical Design Review”, Missile Defense, Defense Daily, 2017/11/16, 檢索日期2020/2/19, <https://www.defensedaily.com/lockheed-martin-mda-finish-lrdr-critical-design-review/missile-defense/>。

雷達系統(SSPARS)，根據美國空軍太空司令部公開的資料，在2004年底也通稱為「BMEWS雷達網路」，是美國空軍的雷達、分析電腦和通信系統，專門用於飛彈預警和太空監視，部署在前文所撰的全球5座空軍基(駐)地，在地理位置上呈現分散的安排，以涵蓋更廣闊、更完整的空域³⁴。

當最後一具帶有2,500個「固態發射器」模組的相位陣列雷達(SSPAR)於2001年在克里爾投入戰備運作時，在實質意義上，當年的SSPARS系統就已取代了RCA公司製造的474L型彈道飛彈預警系統，美國的長程預警雷達網路就已進入了全新世代，這個階段的SSPARS各單元包括：

在加州比爾基地(原為FPS-115，1980年4月4日擔任戰備)和麻州鱈魚角基地(原為FPS-115，1980年8月15日擔任戰備)的雷神公司製AN/FPS-123「鋪路爪」雷達。

在格陵蘭圖勒基地的雷神公司製AN/FPS-120固態相位陣列雷達，比原本FPS-115「鋪路爪」雷達具有更強的探測追蹤功能。

在英格蘭福雷丁代爾的雷神公司製AN/

FPS-126固態相位陣列雷達，三陣面可360度覆蓋(最早於1989年8月至1992年10月建造)。

雷神公司製AN/FPS-120固態相位陣列雷達，使用德州1987年「鋪路爪」預警接收器的舊式陣列天線(1998年4月16日動工，用於「清晰雷達升級」計畫)。

稍後，在英格蘭福雷丁代爾的BMEWS雷達，被雷神與科索航太(Raytheon/Cossor AeroSpace)和「管制資料公司」(Control Data Corporation生產嵌入式CDC-Cyber電腦的廠商)所取代，美國空軍耗資1億美元後，於1995年2月，展開4.5億美元的「錫安山航天飛彈預警中心」升級計畫³⁵。整個SSPARS於2001年1月31日投入戰備，當時克里爾空軍駐地的SSPARS站位(與原有的BMEWS站位分開)開始具有初始作戰能力³⁶。在阿拉斯加州克里爾空軍駐地的AN/FPS-120隨後被升級為AN/FPS-123的型號，稱為SSPA雷達，等到SSPARS在「長程預警雷達延壽計畫」中進行了性能升級³⁷。約莫同時，美國也於2000年批准向中華民國出售AN/FPS-115，並於2006年開始撥交³⁸。

34 Master Sgt. Austin Carter, Tech. Sgt. Gino Mattorano, "Space Command Almanac 2004-2005", HQ Air Force Space Command Public Affairs, 2004.

35 SSgt. Brian Orban, February 1995. The trip wire, Guardian(Peterson Air Force Base, Colorado : U.S. Air Force Space Command)p. 6. 北美空天防禦司令部和美國太空司令部指揮中心。30多年來，在錫安山(Cheyenne Mountain)內操作飛彈預警中心的機組人員，一直保持著對進入領空的彈道飛彈的預警。

36 "Clear Air Force Station, Alaska", Air Force Technology, 檢索日期2020/4/6, <https://www.airforce-technology.com/projects/clear-air-force-station-alaska/>。

37 "AN/FPS-115, AN/FPS-120, AN/FPS-123, AN/FPS-126", 檢索日期2020/4/6, <http://www.radomes.org/museum/equip/fps-115.html>。

38 Staff Reporter, "US radar system a waste of money for Taiwan: magazine", Want China Times, 2013/7/30, 檢索日期2020/4/10, <https://web.archive.org/web/20140907212831/http://www.wantchinatimes.com/news-subclass-cnt.aspx?id=20130730000090&cid=1101>。

三、AN/FPS-132升級版長程預警雷達

AN/FPS-132升級型預警雷達(UEWR)是這一系列相位陣列雷達系統的一款衍生改良型裝備，用於長程預警和對太空監視，也是既有美國飛彈防禦與太空監視網路的一部分。當第一部AN/FPS-115雷達機組進行升級時，固態相位陣列雷達系統開始替換「鋪路爪」。新的AN/FPS-123預警雷達在美國本土各座基地原有的「鋪路爪」相位陣列天線基座中擔任戰備運作。至於英國和阿拉斯加州的BMEWS站分別開始使用AN/FPS-126雷達和AN/FPS-120時，它們在實質的功能上已成為SSPARS雷達站位³⁹。

到2007年，AN/FPS-123雷達駐地附近的100多名業餘無線電發報器的操作者被美國空軍通知降低其功率輸出，以減輕對軍用波道干擾，旋至2009年，AN/FPS-123正式成為美國空軍對太空監視系統單元的一部分

⁴⁰。貝宜系統公司(BAE Systems)從2007年起承接SSPARS的維護合約⁴¹。

美國空軍稍後對SSPARS雷達電子設備進行了升級，例如，雷神公司將加州比爾基地的雷達和英國的FPS-126分別升級為AN/FPS-132升級版長程預警雷達(UEWR)⁴²。尤其是加州的AN/FPS-123已升級為AN/FPS-132(UEWR；亦即Upgraded Early Warning Radar)，它具有陸基中段防禦(GMD)反彈道飛彈ABM系統中計算的能力，包括：航空電子原件和電波發射與接收T/R模組⁴³、涵蓋收發通信中的過渡間隙(FEX/TTG雙工通信系統)、輸電帶式發電機(BSG)和信號處理器與其他功能項目的改良升級。阿拉斯加州的AN/FPS-132於2012年秋季完成升級合約⁴⁴，旋於2013年，麻州鱈魚角安裝了同級的雷達機組⁴⁵。每部雷達裝置都有多個矩陣面，每個陣面提供120度的覆蓋範圍⁴⁶。以超高

39 Fact Sheet, "Upgraded Early Warning Radars, AN/FPS-132", Missile Defense Agency, 2014/7/23, 檢索日期2020/3/16, <https://web.archive.org/web/20140912144237/http://www.mda.mil/global/documents/pdf/uewr1.pdf>。

40 Maj Edward P Chatters IV, Maj Brian J. Crothers, 2009. Space Surveillance Network, Chapter 19, AU-18 Space Primer(Maxwell AFB, Alabama: Air University)p. 252.

41 Space News Editor, "BAE Systems To Continue Maintaining SSPARS Radar Network for U.S. Air Force", Space News, 2014/3/3, 檢索日期2020/3/9, <https://spacenews.com/39693bae-systems-to-continue-maintaining-sspars-radar-network-for-us-air/>。

42 Allen Thomson, "U.S. to Sell Large Early Warning Radar to Qatar (August 7, 2013) (corrected February 10, 2014)", Mostly Missile Defense, 2013/8/7, 檢索日期2020/4/11, <https://mostlymissiledefense.com/2013/08/07/u-s-to-sell-large-early-warning-radar-to-qatar-august-7-2013/>。

43 John S. Williams, "Electronic Scanned Array Design", The 13th European Radar Conference, EURAD 2016, p.1~128. 檢索日期2020/3/15, <https://intranet.birmingham.ac.uk/eps/documents/public/emuw2/SCF01.pdf>。

44 The 6th Space Warning Squadron, 21st Space Wing, "History of Cape Cod Air Force Station", USAF, 2008/1/10, 檢索日期2020/3/20, http://www.radomes.org/museum/documents/CCAFS%20Tri-fold%20Brochure_10Jan08.pdf。

45 Fact Sheet, "Upgraded Early Warning Radars, AN/FPS-132", Missile Defense Agency, 2014/7/23, 檢索日期2020/3/16, <https://web.archive.org/web/20140912144237/http://www.mda.mil/global/documents/pdf/uewr1.pdf>。

46 CSIS, "Upgraded Early Warning Radar (UEWR)", Missile Threat, Defense Systems Ground-based Midcourse

頻(UHF)為工作頻率，探測距離達3,000英哩(5,550公里)⁴⁷。已成軍的站位計有：1.加州比爾空軍基地。2.英格蘭皇家空軍福雷丁代爾。3.格陵蘭圖勒空軍基地的「J站位」。

地理空間情報的運用

運用現役的衛星影像技術與資源，為軍民通用科技覓得新的全球商業機會，也是當今美國國防科技研發的一項新通路，不久前，在一場華府舉行的太空和飛彈防禦研討會上，由美國空軍航太刊物主持的一項新研究得出結論：美國的對手國家和一般美國公民，很快就能在通用網路上看到美軍的部隊調動概況，甚至機密武器開發和測試設施(例如：內華達州的「第51區」)的若干內容，由於飛彈基地和核能實驗室和商業遙測合作的關係，而快速增加了透明度，促成這些的背景條件，也包括軍方大量使用了人工智能(AI)和5G網絡技術。

儘管美國的潛在對手國同樣可以運用以上新技術，跟蹤美國和盟國軍事裝備的部署、探測它們訓練和操作的模式，這些情報內容可以透過高清晰度光譜影像加以識別化學元素成分，微波紅外線影像可以穿透雲霧層

觀察地面，和合成孔徑雷達(SAR)感應器可以在夜間顯現影像。藉由以上的技術，在確保國家安全情報時，人們可以將其定義為「被看到或被發現的風險」。

一、互聯網與人工智能的聯接

這項由《國防消息》(Breaking Defense)承攬的研究提出了一個新的主題，稱為「地理空間情報」(GEOINT)⁴⁸的奇特性，它包括了可以獲得即時的地球表面觀測分析，就連普通美國公民也能上網查詢。通過網路的全球聯通性，與太空商業遙感和人工智能(AI)發展趨勢的融合，未來將可能向一般美國公民提供即時的資訊和衛星圖像。

這項研究是由美國前國防部長辦公室的太空政策高級顧問約瑟夫·科勒(Josef Koller)所撰寫，論述內容引用了「利用遙感衛星構建大型衛星群的能力」，以及「合成孔徑雷達顯像」，與「夜間和紅外線顯像」等性能的聯接。若再加上人工智能分析，未來美軍將可以彙集來自不同衛星傳感器的資料數據予以結合，並且讓全球各地手機設備的特定用戶需求變得更有實用效益，在地表上創造一個無所遁形的場景⁴⁹。所有這一切的推動者將是5G無線通信，提供以超高寬

Defense (GMD) System, Upgraded Early Warning Radar (UEWR), 2018/6/15, 檢索日期2020/4/6, <https://missilethreat.csis.org/defsys/uewr/>。

47 Department of Defense, “National Missile Defense Deployment – Final Environmental Impact Statement Vol. 4.”, United States Army Space and Missile Defense Command(July 2000)pp. H.1.4~H.1.9.

48 GEOINT是地理空間情報的縮寫，它是從對與特定位置關聯的圖像和數據進行分析得出的資料。GEOINT使用圖像來調查和評估地球上任何地方的人類活動和自然地理。GEOINT最初是美國軍方的一個專題研究項目，現在普遍被學術界和商業企業用來解決地理問題。

Omni.Sci, “GEOINT Definition”, GEOINT - Geospatial Intelligence, 2019, 檢索日期2020/3/18, <https://www.omnisci.com/technical-glossary/geoint>。

49 Theresa Hitchens, “ ‘GEOINT Singularity’: There’ ll Be Nowhere For DoD To Hide EXCLUSIVE”, Breaking

頻速度覆蓋全球用戶所需的數據聯通頻道⁵⁰。該份研究也指出，藉由以上技術的逐步實現，民用、商用甚至軍用的商機都甚巨大，美國能夠不間斷地跟蹤俄羅斯和中共的公路移動部署核彈發射器。

另一方面，這種「無處不在的即時情報可用性」的缺點，對於美國的軍事規劃和行動來說同樣令人生畏。研究發現，這種發展對美國國家安全的風險幾乎是無法預估的。因為對手也可以跟蹤美國和盟國軍事裝備的行動，發現訓練和作戰的模式；高光譜影像可以識別化學元素成分、微波紅外線影像可以透過雲層看到地表景象，合成孔徑雷達(SAR)傳感器可以在夜間觀察影像。在確定國家安全風險時，可以將其定義為「被發現的風險」。儘管存在著風險，但該份研究也同時透露出，美國的AI新技術試圖規範商業遙感，藉以限制「可從太空獲取影像」的傳統方法存在某些漏洞。它基於國家安全理由，國際市場暫時還不會受到美國出口技術管制的影響。多年來，美國對合成孔徑雷達(SAR)衛星的國內行銷和出口外銷的規定清楚地證明了這一點。冷戰後，國家偵察辦公

室(NRO)是這種能力的唯一合法客戶。這導致了美國商業公司被排除在目前由歐洲供應商主導的全球市場之外。

二、新興衛星產業的創新

事實上，直到最近隨著美國監管限制的趨緩，新創的美國衛星產業開始出現相似的業務。僅在美國政策允許NRO和國家地理空間情報局(NGA)尋求商業供應的情況下，美國市場的新動態只會受到技術創新和成本削減的刺激。川普政府一直在研究如何減少技術監管限制，以及讓美國商業遙感公司在國際市場上更有競爭力，按照《太空政策指令》第2條(SPD-2)⁵¹和商務部5月發布的「建議規則制定通知」(NPRM)⁵²的要求。

有鑒於此，《國防消息》的研究提出了一個基本問題：「現在是時候讓各軍事承包運營商找到更好的隱匿途徑，而不是告訴對手不要看」。該份研究沒有選擇具體的項目，但它提出了一系列可能有助於美國軍方利用的理論，一種被稱為「GEOINT奇特性」的潛在性策略。這包括傳統的軍事「偽裝、隱藏和欺敵」技術，但藉由本身的高技術，實現了現代化的防範策略，例如，專門攻擊

Defense, 2019/8/8, 檢索日期2020/4/10, <https://breakingdefense.com/2019/08/geoint-singularity-therell-be-nowhere-for-dod-to-hide-exclusive/>。

50 Nick Knize, “3 Ways Open Source is Accelerating Geoint for Defense Missions”, Nextgov, 2019/12/2, 檢索日期2020/3/12, <https://www.nextgov.com/ideas/2019/12/3-ways-open-source-accelerating-geoint-defense-missions/161607/>。

51 Donald J. Trump, “Space Policy Directive-2, Streamlining Regulations on Commercial Use of Space”, Presidential Memoranda, Infrastructure & Technology, The White House, 2018/5/24, 檢索日期2020/4/11, <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/space-policy-directive-2-streamlining-regulations-commercial-use-space/>。

52 Wilbur Ross, “U.S. Department of Commerce Proposes Rule for Securing the Nation’s Information and Communications Technology and Services Supply Chain”, Cybersecurity, ICT Supply Chain, Infrastructure,

整合傳感器數據的對手，所運用的電腦網路也可能成為己方可反制敵人的工具。

中國兵聖孫子有言：「昔之善戰者，先為不可勝，以待敵之可勝，不可勝在己，可勝在敵。故善戰者，能為不可勝，不能使敵必可勝，故曰勝可知而不可為」。孫子又說過：「凡戰者，以正合，以奇勝。人皆知我所以勝之形，而莫知吾所以制勝之形」⁵³。說明戰爭自古至今，總是分為攻守兩方面，善於用兵者，總會先重視防守，以保證自己立於不敗之地。若以前述的現代西方軍事研究理論比擬，「以正合」是所謂替己方軍事單元「覓得更好的隱匿途徑」，才得以不斷補充、整備、編裝，卻不在意對手的例行偵察與分析，而致勝的關鍵技術，仍得力於現代衛星光電裝備的綿密部署，遂行「偽裝、隱藏和欺敵」技術，達到「以正合，以奇勝」的無形境界。

三、大數據分析與決策的實用

建立和使用衛星數據鏈可以提供清晰的決策和分析。數據鏈將龐大的圖庫轉化為高參可以用來制定決策的相關信號。可分為3個功能不斷更新的程序：

數據攝取和協調：衛星攝取各種遙感數據和預先處理，以支持系統學習和可以大規模擴展傳遞的電腦圖像。

系統學習能力的發展：對衛星鑒別器進行已知樣本數據的訓練，以發展用於特定站位和目標的辨識、鑒別和變更檢測的認證。

搜索和鑒別：衛星鑒別器可大規模運行以辨識站位並標記其目的。這些鑒別器使用中解析度和高解析度數據源的組合，在整個空域或相關空域中運行，並且隨與時間同步運行。

人為的決定和提供決定的資訊，是現代軍事行動與目的成功的基礎。在當前世界許多行業，高度自動化和複雜的人工智能(AI)都在穩健地提高人為決策的質量、效率和及時性。人類天生就是邏輯和關係的思想家，所以不論中外的軍事決策者們都偏好於探索影響國家安全深層的內容和結構。假使抱持著缺乏先進空間分析技術的思維方式，就可能使時空分析因素停滯不前。也因此，美軍在發展新的協作模式時也意識到連接互補決策者和執行者二者的屬性。一般由電子裝備和專業人員進行的廣泛而深入的數據分析處理，正融合成為一種新的同步即時處理模式，以彰顯這兩種功能的最佳應用之道。

美國軍事刊物與智庫提供有實用性的新技術理論，創造了本文所稱的「地理空間情報」(GEOINT)的價值，以期避免專業人力與裝備在偵察探測時的系統對抗，徒增決策者的程序內耗與紊亂。這項功能現在已經被證明可以加快和加深國家安全決策的形成，未來國家安全穩定就得力於現在的詳細決策。

以上內容，描述了一些技術場景，這些場景提供了對使用既有軍事科技裝備工具的

Press releases, Department of Commerce, 2019/11/26, 檢索日期2020/3/30, <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2019/11/us-department-commerce-proposes-rule-securing-nations-information-and>。

53 王建東，《孫子兵法思想精解體系》(台北：智揚出版社，民國80年)，頁146。出自《孫子兵法兵勢篇》。

可行性分析。美軍還預測，未來的國防系統在採用和全面應用人工智能的高技術條件下，立即可能實現向國家最高指揮層級決策建議的目標。通過詳細介紹「地理空間情報」(GEOINT)的數據分析和決策的主要過程，展示了這種新理論系統的原理。明智的決策需要清晰的資訊和連貫的資料證明。改良的衛星數據結合了長程傳感器的普及使偵察功能變得強大，讓可靠的數據收集得以實現，這些數據需要處理和學習模型的應用才能有實際效用。

部署反彈道飛彈系統的攻防戰略

現代洲際飛彈的變軌技術與多彈頭誘餌等欺敵手段，讓原本的飛彈防禦系統更形增加了攔截的難度，復以大氣層邊緣超高音速的新一代巡弋飛彈部署，這些綜合因素，讓部分軍事輿論認為其實不需斥資發展分辨氣球誘餌和假彈頭的技術，要想從根本的飛彈防禦系統改良，一方面要增強攔截器(新攔截飛彈)的動能，另一方面還是要從配合陸基飛彈防禦的長程預警雷達與其對目標的早期鑒別能力著手升級，MDA曾指出：「誘餌辨別科技可以分類並找出移動方式最像真彈頭的物體，而且終端攔截能力可以使所有中程施放的誘餌都失效」，此言明指提高新長程預警雷達系統鑒別能力的實際功效。

新的5G通信網路與高度自動化和複雜的人工智能(AI)技術，也將為新世紀的飛彈防禦系統，提供更為即時與精準的評估模式和決策分析，藉此推估美國在完成SSPARS

的同時，也同時對歐、亞盟國境內的重要戰略區位部署了同等級的長程預警雷達，例如在日本西南離島的宮古島、與那國島等，均由日方以向美國「獲得技術授權」的模式，部署「日製」長程預警雷達，鞏固西太平洋的海空航線安全與暢通，這些新世紀的戰略單元將為自由世界提供一道無懈可擊的「天網」。

參考資料

一、專業網路

- (一)Tom Karako, Wes Rumbaugh, “Inflection Point: Missile Defense and Defeat in the 2021 Budget” , CSIS Briefs, 2020/3/22, <https://www.csis.org/analysis/inflection-point-missile-defense-and-defeat-2021-budget>。
- (二)Jen Judson, “Missile Defense Agency to inject competition into homeland missile defense contract” , Defense News, 2020/4/2, <https://www.defensenews.com/pentagon/2020/04/02/missile-defense-agency-to-inject-competition-into-homeland-missile-defense-contract/>。
- (三) “Raytheon to deliver SM-3 interceptors to US Missile Defense Agency” , NavalTechnology, 2020/3/31, <https://www.naval-technology.com/news/raytheon-to-deliver-sm-3-interceptors-to-us-missile-defense-agency/>。

- (四)Omni.Sci, “GEOINT Definition” , GEOINT - Geospatial Intelligence, 2019, <https://www.omnisci.com/technical-glossary/geoint>。
- (五)Bureau of Arms Control, Verification, and Compliance, “United States European Phased Adaptive Approach (EPAA) and NATO Missile Defense” , U.S. Department of States, 2011/5/3, <https://2009-2017.state.gov/t/avc/rls/162447.htm>。
- (六)MDAA, Forbes, “Why The Pentagon’s THAAD Missile Defense System Is Becoming Critical To Protection Of The U.S. Homeland” , 2020/3/23, <https://missiledefenseadvocacy.org/missile-defense-news/why-the-pentagons-thaad-missile-defense-system-is-becoming-critical-to-protection-of-the-u-s-homeland/>。

二、參考書目

- (一)David Hafemeister, 2007. Physics of Societal Issues: Calculations on National Security, Environment and Energy(New York City : California Polytechnic State University)
- (二)Department of Defense, 2018. Program Acquisition Cost by Weapon System, United States Department of Defense Fiscal Year 2019 Budget Request(D.C. : Office of the Under Secretary of Defense (Comptroller) /

Chief Financial Officer February Jan. 29. 2018)

- (三)Bert Chapman, 2008. Space Warfare and Defense: A Historical Encyclopedia and Research Guide(Santa Barbara, California : ABC-CLIO)
- (四)Editor in Chief Merrill I. Skolnik, 1990. Radar Handbook, 2nd Edition(New York : McGraw-Hill, Inc), Chapter 25.9.
- (五)SSgt. Brian Orban, February 1995. The trip wire, Guardian(Peterson Air Force Base, Colorado : U.S. Air Force Space Command)
- (六)Maj Edward P Chatters IV, Maj Brian J. Crothers, 2009. Space Surveillance Network , Chapter 19, AU-18 Space Primer(Maxwell AFB, Alabama : Air University)
- (七)Department of Defense, “National Missile Defense Deployment–Final Environmental Impact Statement Vol. 4.” , United States Army Space and Missile Defense Command(July 2000)
- (八)王建東, 《孫子兵法思想精解體系》(台北:智揚出版社,民國80年)

作者簡介

耿志雲先生，國防大學復興崗政研所中共解放軍研究組軍事學碩士，國際電子戰協會會員，曾任軍事科技雜誌編輯、作者。