

FOCUS

專題報導

● 作者/Bruce M. Sugden ● 譯者/黃文啟 ● 審者/黃坤銘

極音速飛彈對戰略與聯合作戰潛在衝擊之研析

Analyzing the Potential Disruptive Effects of Hypersonic Missiles on Strategy and Joint Warfighting

取材/2022年第一季聯合部隊季刊(*Joint Force Quarterly*, 1st Quarter/2022)

極音速飛彈的變軌能力將大幅削弱現有飛彈防禦系統效用，影響擁核大國戰略與作戰方式，美軍應善用兵棋推演，進行周延分析與萬全準備，方可維持全球打擊優勢。

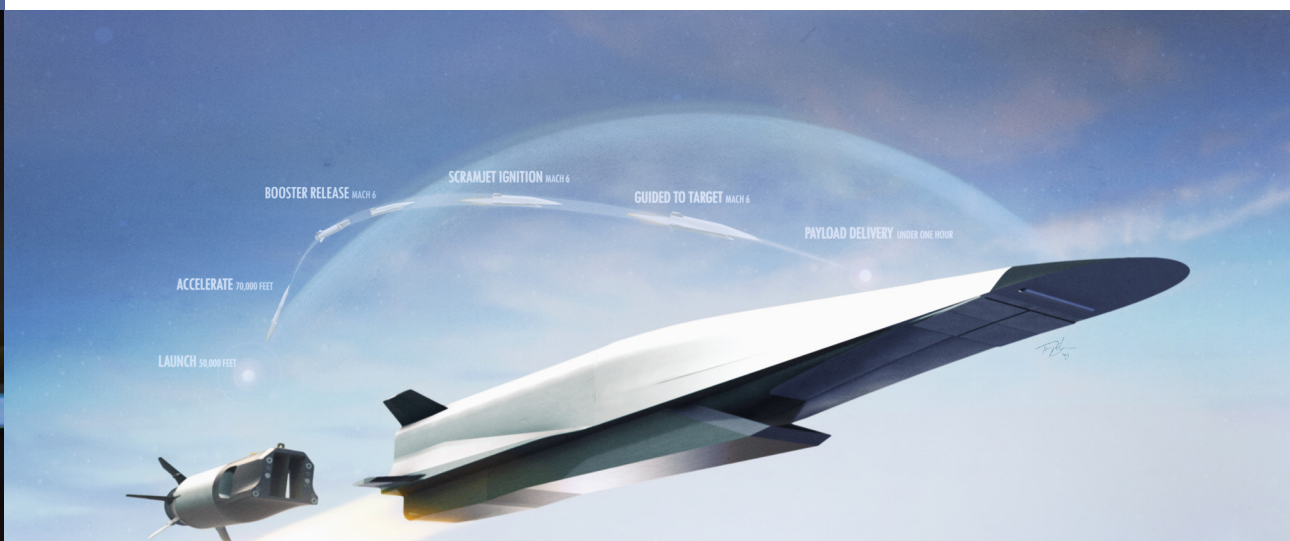


未來，極音速飛彈可能廣泛部署與運用，而這是否將為戰略與軍事作戰帶來破壞性發展？競爭者使用極音速飛彈，是否迫使美國國防部調整其新興的全球與區域聯合作戰假定與公認的戰略穩定共識，以及對美國重大利益威脅時所採取的嚇阻手段？¹ 俄羅斯和中共在嚇阻作戰概念和認知方面的假定，是否會因美國部署極音速飛彈而產生動搖？美軍是否因而有機會強化既有作戰優勢，或者取得全新作戰優勢？

目前，美國、俄羅斯和中共在發展與部署高速變軌武器投射系統——普遍稱為極音速飛彈(本文後續將以極音速飛彈統稱)——對作戰產生的影響，各方所持看法不一、各說各

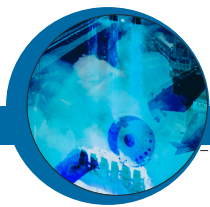
話。極音速武器所具備的性能，以及最常被拿來炒作的話題，直接觸及美國長期以來關於作戰與戰略假定之核心。但有關嚇阻、攻守平衡、基地設置、用兵部署及指揮管制等議題，卻不常在專案辦公室或飛彈測試場中予以探討或分析。²

為能深入瞭解極音速飛彈如何影響軍事行動，並在行政與立法部門對飛彈價格爭論不休前及早準備，美國國防部應先行驗證——「有條有理、按部就班驗證新軍事作戰概念和作戰能力」。³ 這項軍事驗證背後目的，是要取得「針對不確定未來做決定時所需的知識」。⁴ 如同國防戰略分析家安格芬(Robert Angevine)所言，人員所習得的新知可以：



◀2020年8月6日，美空軍第912飛機修護中隊官兵在加州愛德華(Edwards)空軍基地，進行AGM-183A「空射快速反應武器第二儀裝測量載具」(Air-Launched Rapid Response Weapon Instrumented Measurement Vehicle 2)校準作業，準備掛載於B-52H「同溫層堡壘」(Stratofortress)轟炸機機翼下方。(Source: USAF/Giancarlo Casem)

▲超音速燃燒衝壓發動機(Scramjet)極音速武器進入發射程序後，依序進行加速、加力器掉落、衝壓發動機點火、目標導引及攔截目標等流程。(Source: DVIDS)



在取得新軍事戰力，或者運用既有戰力發展新戰術、技術及程序時降低風險。若缺乏有效的聯合驗證專案，未來各聯合作戰司令部極有可能必須負責分析——如何在作戰層級，整合各軍種最新戰力，以有效統合各部隊行動。⁵

為了支持該項作為，嚴謹的研究團體不可或缺。如此一來，方可設法瞭解三大主要軍事競爭者，是如何推想極音速飛彈的部署及運用。

本文認為，依據最新研究成果所實施之兵棋推演，可以成為這項作為的第一步，來發掘極音速飛彈擴散所衍生之種種影響。但這並不代表兵棋推演可以完全取代其他驗證工具，而是兵棋推演在確認及發展認知暨分析框架方面，較符合成本效益，日後，可以在這些框架的基礎上，進一步做出更完整而周延的分析。⁶ 由於極音速飛彈目前尚未投入實戰，故無實戰數據可當作反證，也尚未對其在戰略和軍事作戰上可能產生的效應進行驗證，美國國防部和國會應該接受毫無事實根據的假設：亦即與彈道飛彈和巡弋飛彈相比，美國、俄羅斯和中共廣泛部署及運用極音速飛彈，並不會在戰略及作戰層面上產生更大效益。⁷ 換言之，美國不應優先籌獲與部署極音速飛彈。

本文將以八個面向逐一進行探討。第一、說明各大國刻正研發的兩種極音速飛彈，以及極音速飛彈迥異於其他飛彈的能力。第二、列舉主要競爭者發展中和現有的極音速飛彈。第三、闡述極音速飛彈在軍事作戰和國防戰略方面所帶來影響，尤其是公開場合廣為討論的重要主張和議題。第四、探討美國、俄羅斯和中共等國家，未來

會將哪些作戰概念和軍事準則，與近期極音速飛彈發展項目實施整合。第五、探討未來美俄或美「中」衝突中，如何廣泛運用極音速飛彈。第六、說明反制極音速飛彈的相關議題。第七、本文將提出證明，軍事驗證初始階段所進行的兵棋推演，為後續評估極音速飛彈在戰略和軍事作戰的破壞性效應上，奠定良好基礎。另外，提出可在兵棋推演中研討的參考議題，並對本文前面段落所提問題進行深入探討。最後，假如軍事驗證顯示極音速飛彈真的會造成破壞性效應，美軍也有機會提高對俄羅斯和中共部隊的作戰優勢，文章亦將說明軍事驗證成果，如何幫助美國國防部策定極音速飛彈對抗以俄羅斯和中共為主軸的競爭戰略。

背景

極音速飛彈具備兩項重要能力：以五馬赫以上速度飛行，且能在至少有一半射程採空氣動力飛行（亦即，像飛機一樣可以偏航、俯仰和滾轉）。就個別來看，這些能力並不新奇，但在結合後能讓極音速飛彈成為具備潛在破壞力的新發明。

通常，極音速飛彈可區分為兩大類型：「極音速滑翔載具」（Hypersonic Glide Vehicles, HGV）和「極音速巡弋飛彈」（Hypersonic Cruise Missiles）。極音速滑翔載具是利用常規助推飛彈發射推進後進行自主飛行。載具與助推裝置分離後，在沒有加力器動力下，於大氣層上層進行滑翔。⁸ 極音速巡弋飛彈則是以進氣式推進器為動力。⁹ 為使這些巡弋飛彈達到極音速程度，設計人員一直在研發「超音速燃燒衝壓發動機」（Supersonic Combustion Ramjet）。

tion Ramjet, Scramjet)——現有衝壓噴射發動機(Ramjet)加強版。現有衝壓發動機中的氣流以次音速流動，而超音速燃燒衝壓發動機中的氣流則是以超音速流動。¹⁰

主要競爭者與發展成果

美國、俄羅斯和中共都在研發極音速滑翔載具和極音速巡弋飛彈相關科技。美國希望發展出可從地面、海上和空中發射，配備常規彈頭的兩種極音速飛彈。直到2020年底為止，據公開資訊顯示，美國刻正推動六項計畫，致力發展極音速飛彈作戰原型：空軍、陸軍和海軍各一，而國防先進研究計畫局則有三項。¹¹

美空軍極音速飛彈發展計畫是AGM-183「空射快速反應武器」(Air-Launched Rapid Response Weapon, ARRW)，這是一種可在10到12分鐘內，攻擊遠在1,600公里外地面目標的空射極音速滑翔載具，B-52H轟炸機將成為其主要發射載臺。¹² 美陸軍的計畫是「長程極音速武器」(Long-Range Hypersonic Weapon)。這種飛彈和空軍及

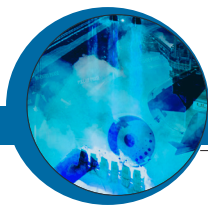
海軍計畫一樣，都是使用相同的「通用極音速滑翔彈體」(Common-Hypersonic Glide Body)，升空時是以一具陸射型兩節式火箭推進。這種飛彈射程預期將達2,775公里以上，用於打擊地面目標。¹³ 美海軍的「常規迅捷打擊」(Conventional Prompt Strike, CPS)飛彈則是以通用極音速滑翔彈體搭配潛射推進系統。常規迅捷打擊飛彈可在2028會計年度，在維吉尼亞級攻擊潛艦的「維吉尼亞酬載模組」(Virginia Payload Module)上取得初始作戰能力，¹⁴ 也用於打擊地面目標。

與此同時，國防先進研究計畫局則致力研發，並且驗證多項關鍵科技，以利發展未來空射與陸射極音速武器系統。其中一項與美空軍共同開發的系統是「戰術助推滑翔器」(Tactical Boost Glide)，此種載具可能會與美海軍各型軍艦配備的垂直發射系統相容。國防先進研究計畫局的另一項「作戰火力」(Operational Fires)專案，最後可能移轉美陸軍。最後，「極音速進氣式武器概念」(Hypersonic Air-Breathing Weapon Concept,

HAWC)是與空軍的合作計畫，旨在發展空射型極音速巡弋飛彈。考量「極音速進氣式武器概念」的體積要比其他發展中載具小很多，未來也可能適用在多種發射載臺。¹⁵

不同於美國的是，中共和俄羅斯都未公開宣示其不會在自己的極音速系統中配備核武酬載。¹⁶ 事實上，俄羅斯第一款配備「先鋒」(Avangard)極音速滑翔載具的SS-19「洲際彈道飛彈」(Intercontinental Ballistic Missile, ICBM)，就配備有核彈頭，並於2019年12月正式加入戰鬥序列。¹⁷ 俄羅斯也刻正發展「鋁石」(Tsirkon)極音速巡弋飛彈，此種艦射系統可用於攻擊地面目標和軍艦。¹⁸

各項報告指出，目前中共正在進行多項極音速飛彈計畫。¹⁹ 其中一種是陸射型東風-17中程系統(射程約為1,800至2,500公里)，可攜帶極音速滑翔載具來攻擊地面目標，並且可能已成軍部署。第二種系統是DF-ZF極音速滑翔載具，其原名為「武-14」，射程約為1,930公里。中共也曾進行第三種系統「星空-2」(Starry Sky-2)的飛行測試，



此種飛彈可能具有攜帶核武的能力。星空-2採用動力飛行，設計概念不同於其他極音速滑翔載具，反而與極音速巡弋飛彈較為相仿。由於是藉由自身震波獲致氣動升力，因此，星空-2可視為混合型極音速飛彈。最後，在2020年初國會聽證中，美國北方司令部兼北美防空司令部前司令歐尚納西(Terrence O' Shaughnessy)上將曾指出，中共可能會部署洲際射程極音速飛彈來威脅美國本土。²⁰ 然而，目前中共仍未公開特定洲際射

程極音速載具相關計畫。

辯論

相較於變軌次音速巡弋飛彈和搭載重返大氣載具的常規彈道飛彈，極音速飛彈較能避開敵人的偵測與追蹤，突穿對方防空和飛彈防禦系統，打擊所望目標。²¹ 因此，極音速飛彈很可能會無預警攻擊目標，讓對手猝不及防。事實上，美國參謀首長聯席會議副主席(也是美國戰略司令部前任司令)海登(John Hyten)上將曾指出，常規

彈頭極音速飛彈可以「在其他兵力無法使用、受到阻礙或較不適宜的情況下，對遠距、具防護和/或時效性威脅，提供敏捷、遠距的打擊選項。雖然常規彈頭極音速武器無法取代核子武器，但其獨有特質可提升常規作戰優勢，並且增強常規與戰略嚇阻力量」。²² 但部署與運用極音速飛彈，在既有作戰優勢及嚇阻概念方面，可以創造多大實質效果？

其中，有美國國家安全會議前任幕僚主張：「到頭來，極音速武器似乎會實現空權願景」——對敵人關鍵國家資產進行即時、精準且銳不可擋的武器投射，不使用地面部隊即可迫使敵人放棄作戰，而地面部隊已經「證明其代價高昂、不受歡迎且普遍缺乏效能」。²³ 2018到2020年，格里芬(Michael Griffin)曾擔任美國國防部研究工程次長，他將上述理論性願景延伸到美國國家戰略層面，並主張美國的競爭者如果在極音速飛彈取得不對稱優勢，可能迫使美國在戰時必須訴諸核武，才能阻止敵人達成戰爭目的。格里芬更進一步說明，擁有核



2021年10月7日，第一套極音速硬體原型交運第17野戰砲兵旅第3野戰砲兵團第5營，撥交儀式於華盛頓州路易斯-麥克德(Lewis-Mcchord)聯合基地舉行。(Source: US Army/Karleshia Gater)

武的敵手可能會質疑美國，為何以核武回應常規彈頭極音速飛彈威脅。²⁴ 這是冷戰時代老調重彈：美國在面對遠端常規武力攻擊時，是否甘冒核武升級風險(包含威脅本土的情況)？

而另一方認為，部署極音速飛彈不會徹底改變美國及其他核武大國長期的嚇阻及戰略競爭關係。²⁵ 即便沒有極音速飛彈，美國仍有多種有效的軍事回應手段，來反制中共或俄羅斯的極音速飛彈威脅。雖然並未攤在檯面上，但此種觀點可能建立在戰略學家謝林(Thomas Schelling)所稱的「機會決定命運的威脅」——亦即無法迴避升級成大規模、毀滅性本土核子打擊的風險，使擁有核武的敵人從一開始就不太可能對美國盟友採取軍事威脅。²⁶

最後是第三種論點。魏肯寧(Dean Wilkening)指出，極音速飛彈在兩方面「可能對於戰略穩定造成深遠影響」。²⁷ 「戰略穩定」(Strategic Stability)通常包含兩大範疇。第一個是「危機穩定」(Crisis Stability)：在此種情況下，兩個擁有核武的競爭者無法透過事前反制相互制衡，進而限縮後續戰爭中可能造成的損害。因此，雙方會克制自己訴諸核武的衝動，以避免遭到對方以核武反制。第二個是「軍備競賽穩定」(Arms Race Stability)：在此種情況下，競爭者的核武部隊存活率及可恃報復能力相當強大，或者不易因他方核武架構質量變動而產生影響。²⁸ 據魏肯寧表示，「危機穩定」涉及高速變軌投射載具進襲時，防守方是否能夠正確進行威脅評估。難以正確評估來襲飛彈可能攻擊目標，將會導致核武升級「難以控制」，進而削弱危機穩定度。²⁹ 如果連來襲飛彈

彈頭種類(核彈頭或常規彈頭)都無法確認，那更是雪上加霜。

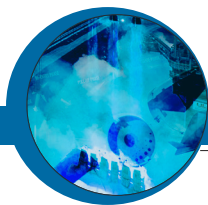
接著，從「軍備競賽穩定」角度進行分析。如果競爭者部署大量極音速飛彈，那麼當其中一方訴諸核武來遂行報復時，部分報復作為就更容易遭對手奇襲反制，從而降低軍備競賽穩定度。當前述脆弱感增加時，就會迫使競爭者加強核武戰力，或者改變戰備姿態，甚至同時採取前述兩種手段。³⁰

競爭者應對大規模戰鬥行動的作法

本段落將簡要檢視，美國、俄羅斯和中共等三國在因應近期極音速飛彈發展方面，將有哪些作戰概念與軍事準則會隨之調整。本段旨在為後續探討競爭者在極音速飛彈可能運用概念方面，提供戰略和作戰方面的背景知識。

美國：美國「國防戰略」要求聯合部隊必須在關鍵地區(包含印太、歐洲和中東)嚇阻侵略、核武與非核武戰略攻擊，並且保衛美國本土。在完成上述任務所需的眾多必要戰力中，聯合部隊必須能打擊敵人層層防禦範圍內的各類目標，以摧毀其機動戰力投射載臺。³¹

美軍有一套在大規模戰鬥行動中獲取常規優勢的劇本，並且經過實戰驗證：亦即削弱、擾亂或摧毀敵軍指揮、管制與通信戰力，同時奪取作戰區域空優。³² 雖然美國從冷戰結束之後，在區域戰場空間一直掌握海上優勢，但美國的空優——成功遂行地面行動的必要條件——於1991年「沙漠風暴」後的多次衝突中，都經過一番纏鬥、費盡千辛萬苦才取得。



美軍「聯合作戰概念」以「全領域作戰」為基礎。戰時可運用極音速飛彈短暫突破敵方防線，為後續攻勢創造有利態勢。(Source: DVIDS)

目前美軍準則闡明，聯合部隊指揮官「必須突穿敵人的反介入/區域拒止戰力，才能確保部隊能夠進出可能作戰地區」。³³ 即將公布的「聯合作戰概念」(Joint Warfighting Concept)，表面看來是以名為「全領域作戰」(All Domain Operations)的新美國戰爭方式為基礎所發展，其內容很可能會呼應現有準則的某些面向，要求建立整體性聯合部隊，使敵人無法主宰地面、海上、空中、太空及網路領域，並且鞏固美軍主宰上述領域的能力。³⁴ 當前，俄羅斯及中共反介入/區域拒止戰力不斷提升，重層防禦的縱深和火力涵蓋也不斷由國界向

外延伸。戰時，美軍聯合部隊可能必須統合全領域聯合戰力，短暫突破敵軍防線來取得局部行動自由，而非固守過去20到30年間，美國對付實力懸殊軍事強權的一貫作為——以大範圍長期作戰，擊潰敵人反介入/區域拒止戰力。³⁵ 少量極音速飛彈可短暫癱瘓部分防線，讓美軍戰場存活率低的載臺和投射載具，能夠利用敵軍戰力罅隙，突穿重層防禦進行攻擊。而大量極音速飛彈，則可讓聯合部隊獲致近乎一舉退敵的豐碩戰果，癱瘓敵軍反介入/區域拒止戰力。

俄羅斯：一旦戰爭爆發，俄羅斯的手段，就是對試圖控制情

勢的敵人造成一定程度損害，並迫使其接受俄羅斯的要求。³⁶ 假如俄羅斯在鄰近地區與美國爆發衝突，其會權衡利弊得失——亦即透過製造動亂和承受損害，來贏得談判籌碼，並且迫使對方走上談判桌。³⁷ 假如戰爭條件許可，俄羅斯的最佳戰略即為遂行常規精準打擊，同時保留核武打擊手段，以嚇阻美國進一步訴諸核武。³⁸

俄羅斯戰略家知道，嚇阻力量能否發揮取決於敵方社會與決策者的各種認知，而每種認知都會互相影響，進而限縮敵方戰略。為操弄敵方的風險認知、加深損耗並且脅迫其付出更大代價，俄羅斯軍事著作多年來一致表示，俄軍希望可以運用不同等級的非戰略性核子武器、戰略性核子武器，以及遠程常規精準打擊武器(不見得照順序)。俄軍試圖以部分或全盤軍事作為，搭配政府外交、政治和資訊手段來強化嚇阻效果。³⁹

俄羅斯核子武器是數量最多且最具毀滅性。然而，俄國也不斷擴充常規精準打擊武器存量、提高武器素質，俾在區域衝突中獲得更多管控情勢升高與

達成戰略目標的非核武選項。俄國文獻中談到在「受到戰爭威脅期間」及衝突早期階段使用常規打擊武力。⁴⁰ 同時，有許多俄羅斯戰區飛彈都屬兩用型——飛彈可攜帶常規彈頭或核彈頭。未來俄羅斯的「鈷石」極音速飛彈在部署後，可能就是一種兩用型飛彈。

俄軍試圖將常規精準打擊武器，運用到作戰規模與殺傷程度不一的攻擊行動上：從戰力展示或單一攻擊到「毀滅關鍵重要目標之戰略行動」(Strategic Operations for the Destruction of Critically Important Target, SODCIT)。⁴¹ 強森(Dave Johnson)指出，前述關鍵重要目標曾於俄國政府民防文件中提及。依據文件內容，關鍵重要目標的「功能毀壞或中止，會導致俄羅斯聯邦經濟完全失控或領土分裂，對百姓生命財產帶來無法恢復的負面影響(甚至摧毀)，或者大幅降低人民的安全感」。⁴²

俄羅斯軍事著作也說明「毀滅關鍵重要目標之戰略行動」作戰和戰略層級的目標類型。作戰層級目標包含指管、空運



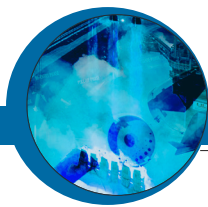
俄羅斯善於操縱敵方社會與決策者認知，常於戰事爆發時，運用軍事、外交、政治和資訊手段，限縮敵方戰略，迫使對方走上談判桌。2022年3月29日，俄烏雙方代表在土耳其進行協商即為一例。(Source: Reuters/達志)

卸載站(Aerial Ports of Debarcation)、卸載港口(Seaport of Debarkation)、軍隊主要集結與臨戰準備區域，還有交通線的咽喉要隘。戰略層級目標包含國家級指管、戰略打擊能力、彈藥屯儲點、國家與區域層級之政府控制中心、戰爭支援產業，以及空運裝載站與裝載港口等。⁴³

中共：許多中共觀察家認為，共軍準則(主要為火箭軍，亦即原本的二砲部隊)闡明，使用常規飛彈支援地面、空中、海上及資訊戰單位，於國界周邊與鄰近地區執行戰鬥任務。截至2021年，中共所部署的飛彈部

隊，可執行對印度、東亞及西太平洋地區目標的常規精準打擊行動。隨著中共飛彈戰力及相關運用概念發展，飛彈攻擊範圍可延伸至遠程重要目標(諸如美國西岸與東太平洋地區美軍基地)——美軍可藉前述基地快速增兵，阻止中共侵略美國友邦與夥伴國家。⁴⁴

據美國國防部中國事務副助理部長蔡斯(Michael Chase)表示，即便到2010年代，中共觀察家仍把2004年版《第二砲兵戰役學》(*Science of Second Artillery Campaigns*)當作瞭解中共火箭軍準則的重要文件，文件中列舉常規飛彈可能攻擊



目標：戰略與作戰層級指管通中心、雷達、資訊相關樞紐、飛彈與空軍基地、海軍設施、後勤中心、交通線咽喉要隘、能源基礎設施及航空母艦打擊群。《第二砲兵戰役學》闡明飛彈打擊目的是「癱瘓敵軍指揮體系、削弱敵軍軍事力量及持續作戰能力、製造敵人心理震撼、粉碎其作戰決心，並且嚇阻強大敵人的軍事干預活動」。蔡斯表示，中共軍事著作強調常規飛彈打擊獲致奇襲效果的重要性，似乎可看出其在先發制人的軍事用途。⁴⁵

可能的運用概念

這三大競爭者極有可能採用不同的極音速科技、籌獲不同數量的系統、以相異方式部署，並將其融入甚至整合於作戰計畫內。截至目前為止的討論，顯示出五種極音速飛彈在未來美俄或美



2019年10月31日，北大西洋公約組織常設海軍第1集團(Standing Maritime Group 1)旗艦格瑞德里號(USS Gridley)損害管制人員，在北約「海軍電磁作戰19號演習」(Naval Electro-Magnetic Operations 19)中，對模擬巡弋飛彈攻擊進行突發狀況處置作為。(Source: NATO)

「中」衝突可能廣泛運用的方式，並凸顯兵棋推演必須探討不同武器和作戰方式，可能在作戰與戰略層級所帶來的衝擊。

首先，在飛彈襲擊前，極音速飛彈可能先行摧毀特定飛彈防禦雷達或飛彈連，以削弱對方空防，確保後續飛彈可命中所望目標。以俄羅斯為例，過去20多年來，一直在打造對抗周邊地區已知軍事威脅的重層多領域及兩用防禦體系。⁴⁶ 在波羅的海三小國的衝突假設中，俄羅斯發展「鋸石」等極音速飛彈，恐提高極音速飛彈投入戰場的機率：運用極音速常規或核武反艦飛彈，攻擊諸如美海軍勃克級驅逐艦彈道飛彈防禦艦，或用於反制美軍在增援歐洲戰場、進行空運卸載時，所部署的「終端高空區域防禦」(THAAD，俗稱薩德)飛彈連。同樣地，中共也可能運用東風-17，先行打擊沖繩嘉手納(Kadena)空軍基地內的飛彈防禦部隊，待突穿美軍飛彈防禦體系後，讓功能較差的飛彈遂行後續打擊。當競爭者現有常規彈道與巡弋飛彈數量較多，而庫存之極音速飛彈相對較少時，極音速飛彈最可能用來執行此種初期打擊。

第二，俄羅斯和中共認為，美國及其友邦用於防護陸基與海基部隊的飛彈防禦系統，就是非極音速攻擊飛彈的重大障礙。因此，兩國可能運用少量極音速飛彈，針對美軍在其領土周邊部署重兵戒護的資產，遂行小規模飛彈襲擊。多數極音速飛彈則用於輔助常規彈道及巡弋飛彈，使其毋須採用飽和攻擊，亦能打擊重要目標。

第三，呼應海登上將對於極音速飛彈所扮演角色的觀點，美軍可運用極音速飛彈攻擊時效性的

機動目標，諸如先進防空暨飛彈防禦系統的機動發射車，或者據信為配備大規模毀滅性武器彈頭的遠程攻擊型飛彈。然而，如同魏肯寧所言，美國如果對俄羅斯或中共本土的目標實施上述打擊，將可能導致核武情勢升級。

第四，同樣也呼應了魏肯寧對於危機穩定的高度重視，極音速飛彈可壓縮敵人反應時間，使其不易進行飛彈攻擊預警評估，這也意謂著俄羅斯和中共恐試圖先發制人，執行領導高層斬首行動。這也是俄羅斯「先鋒」極音速滑翔載具的可能用途。即便俄國「先鋒」極音速滑翔載具只配備常規彈頭，美國決策高層仍可能將極音速滑翔載具解讀為核武威脅，並啟動核武報復打擊程序。

與此同時，我們必須牢記，雖然極音速飛彈可能縮短敵人飛彈攻擊預警時間，但卻不見得使其完全沒有時間反應。環繞地球的同步人造衛星仍可偵測極音速滑翔載具助推火箭的發射，因而有充分時間可以疏散高層領袖，以及進行重要防護資產的陣地變換，諸如警戒待

命的轟炸機等。⁴⁷ 其中一項更大風險，也是兵棋推演應深入研究的重點，就是敵人可能精心策劃，在反制地球同步人造衛星當下，發起極音速飛彈攻擊，讓對手無法獲得關鍵資訊，進而壓縮或剝奪飛彈攻擊預警時間。

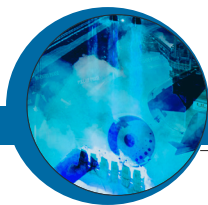
第五，在更遙遠的將來，美國擴大部署作戰層級飛彈防禦系統後，俄羅斯或中共可能會使用大量極音速飛彈，對美國境內後方地區後勤、運輸咽喉要點、太空發射設施、反太空武器、指管通及情報蒐集單位或戰爭支援產業等，發動縱深常規打擊，以削弱美國支持海外軍事行動的能力，並且對美國民眾及領導高層造成心理震撼。對於俄羅斯而言，此種極音速飛彈打擊行動，完全符合「毀滅關鍵重要目標之戰略行動」概念，但卻可能招致美國「接獲預警後發射」(Launch-on-Warning, LOW)核武予以回應。

有趣的是，某些作戰想定指出，大規模(數百枚)常規彈頭極音速飛彈打擊可能會升級為核子戰爭。例如，在歐洲或東海的

區域衝突中，大規模運用常規彈頭極音速飛彈，使敵人無法達成戰爭目的，可能反而迫使對方訴諸核武，當作扭轉不利戰局的最後手段。此種想定，似乎與俄羅斯對於區域常規衝突引發核武的思維不謀而合。此外，或許基於飛彈防禦架構當前狀況和效益，大規模運用常規彈頭極音速飛彈攻擊對方本土，可能提高核武大國率先採取核武攻擊的誘因，進而會破壞危機穩定。但可以想像的是，美國及其主要競爭者若陷入大規模極音速飛彈作戰，其所產生的威脅，並不亞於常規彈頭飛彈和巡弋飛彈大規模攻擊。不過，兵棋推演有助於確認及界定，在極音速飛彈部署與運用計畫內的想定場景中，哪些比較容易導致三大主要軍事競爭者訴諸核武第一擊、挑起戰端。

如何反制極音速飛彈

支持和反對美國極音速飛彈的人不約而同預期，此種新科技會讓反制來襲飛彈變得更加棘手。飛彈在助推階段(包含搭載極音速滑翔載具的飛彈)比其



2020年11月16日，美國馬里蘭大學航太工程所博士候選人佩琴(Laura Paquin)，在校內參與高速氣動力學與噴射實驗室的極音速風洞試驗。

(Source: USAF/Perry Aston)

他飛行階段更容易遭偵測和追蹤，這是不爭的事實。然而，欲在助推階段進行攔截，防禦者的感測器和攔截飛彈發射器必須部署於發射地點附近。當前地理條件和敵方反介入/區域拒止能力所形塑的威脅，讓美國截至目前仍無法在地面上進行助推階段攔截。因此，為了讓前進部署的美軍部隊和各戰區基地免遭飛彈攻擊，美軍主要採取飛彈中途飛行(助推火箭燃燒完畢至終端階段開始前)，以及終端階段的動能攔截(或擊殺)手段。⁴⁸ 即便是美國本土的飛彈防禦體系，也是依靠中途動

能攔截，而這種攔截方式只適用於抵禦北韓和潛在敵人伊朗的局部洲際彈道飛彈攻擊。⁴⁹

行蹤飄忽的飛行軌跡是攻擊型飛彈突穿防禦的利器。若能善加運用，即便所有防空武器都發揮最佳效能，不確定的飛行軌跡仍能癱瘓整個防禦系統。⁵⁰

高速變軌投射系統(諸如機動重返大氣載具和極音速飛彈)讓動能飛彈防禦系統難以招架。⁵¹ 首先，在某些個案中，反制飛彈可能須在目標載具開始變軌前發射。假如變軌幅度夠大，目標載具就可以完全在反

制飛彈攔截區外飛行。接著，假如要在目標載具變軌過程中進行攔截，則反制飛彈機動變軌能力須優於極音速飛彈。

若透過主動防禦來反制極音速飛彈，則將面臨諸多技術性挑戰。因此，極音速飛彈的擴散可能會促使美國重新思考對策，當敵人發動極音速飛彈攻擊時，該如何預擬官方說法，尤其是針對哪些可以直接攻擊美國本土的遠距極音速飛彈。例如，為能嚇阻攻擊，美國可以宣布，假如偵獲敵方類似徵候，美軍可以發動先制打擊，阻止敵方發射極音速飛彈。前述作法所帶來的後果可能極其諷刺，假如美國誤判敵軍徵候，逕行發射極音速飛彈打擊核武對手國的本土，那就會引起對方攻擊美國本土予以報復。囿於情報誤判可能帶來的嚴重後果，可能會讓美國不敢以先制攻擊，來嚇阻核武敵人採取後續行動。

若不修改前述政策，美國也可以從科技層面反制極音速飛彈，但這些措施並非完美無缺。飛彈防禦也可運用「導能武器」(Directed-Energy Weapon,

DEW)。要用導能武器攔截來襲之極音速飛彈，防禦者必須儘可能延長對目標投射能量的時間。很明顯地，這意謂導能武器必須前推部署，儘可能遠離防護資產，藉以加大防禦縱深，延長接戰時間。由於極音速飛彈表面為極耐高溫材質，導能武器可能必須耗費比反制飛機或低空次音速巡弋飛彈更長的時間，對目標進行照射。不僅如此，大氣條件可能會降低導能武器在最短射程外的殺傷力，如此將會進一步壓縮可能的接戰機會。⁵²

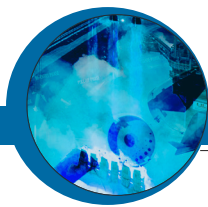
長期來看，若要有效遂行主動防禦，電子戰防禦措施可能是最佳方案。例如，防禦者必須先知道目標載具終端導引或備炸、引爆與射擊系統所使用的頻率。但如同導能武器，電子戰解決方案也需要足夠時間才能削弱該載具的次系統。

最後，核彈頭攔截飛彈可能是反制極音速飛彈最佳解方。更具體來說，低當量或特定核武器的爆震波和輻射線，其殺傷範圍可能遠超過常規武器。⁵³ 殺傷範圍增加，意謂攔截飛彈毋須直接命中目標，就可降低變軌飛彈投射載具成功發射的機率。⁵⁴ 基於前述概念，1950到1970年代，美國部署搭載核彈頭的防空暨飛彈防禦系統。有趣的是，目前未有任何報導指出，美國國防部正在思考以特定核武取代非核武攔截科技，來反制極音速投射系統，但或許美國國防部應審慎加以考慮。⁵⁵ 美國國防部可能認為，發展核武攔截飛彈會衍生負面政治效應，因而自我設限。敵人可能也有名正言順的藉口，想方設法反制美國部署的核彈頭反制飛彈，進而降低其反制效益，而美國在設計攔截飛彈時，就得將這些反制措施納入考量。⁵⁶

即便美國不走核彈頭攔截飛彈的回頭路，俄羅斯仍然持續為特定防空和飛彈防禦系統發展核武器。⁵⁷ 核武酬載可能用於俄羅斯正在發展的S-500地對空飛彈，而此種攔截飛彈可能有能力反制某些型式的極音速飛彈。⁵⁸ 因此，美國在設計極音速飛彈時，必須思考敵人運用核武反制的後續效應。

最終，極音速飛彈擴散，可能迫使美國重新檢視其在太空和地面飛彈防禦與偵測系統的部署方式與涵蓋範圍。極音速飛彈威脅已經促使美國挹注資金，延伸太空飛彈防禦戰力，就是希望能在助推、中途飛行及終端階段，反制極音速滑翔載具及其他極音速飛彈。⁵⁹ 美國太空發展局(Space Development Agency, SDA)提出「太空國防架構」(National Defense Space Architecture, NDSA)方案，結合數種重層衛星網路，滿足不同任務需求。其中兩層預劃用於極音速飛彈防禦：追蹤層(Tracking Layer)「提供尖端飛彈威脅(含極音速飛彈)的全球性徵候、預警、追蹤及目標判定」；運輸層(Transport Layer)則結合追蹤層和陸基攔截飛彈網路。⁶⁰ 美國飛彈防禦局(Missile Defense Agency, MDA)和美國太空軍正與太空發展局合作，發展能擴大追蹤層範圍的「極音速暨彈道飛彈追蹤太空感測器」(Hypersonic and Ballistic Tracking Space Sensor)。除發展太空國防架構，飛彈防禦局和國防先進研究計畫局也致力研擬全新攔截方式，希望能在終端階段變軌能力上，略勝攻擊型極音速飛彈一籌，以順利達成攔截任務。⁶¹

美國預劃發展先進飛彈防禦手段以反制極音



2011年11月，美陸軍太空暨飛彈防禦指揮部/陸軍部隊戰略指揮部執行「先進極音速武器」概念的首度飛測。

(Source: US Army)

速飛彈，而兵棋推演可以針對下列兩大領域進行探討。首先，直到2021年，美國預劃的極音速飛彈反制措施，都置重點於美國前進部署部隊和基地所受到的區域性威脅，但中共和俄羅斯對此一直抱持懷疑態度，認為美國提升飛彈防禦科技的最終目標，其實是要部署全球飛彈防禦架構，以瓦解中共或俄羅斯對美國發動第二擊核武的能力。⁶² 因此，中共和俄羅斯不斷批評，美國飛彈防禦作為是引發核武攻擊的誘因。

其次，加強型太空飛彈防禦戰力的舉措，長期

下來可能涵蓋三大軍事競爭者，因而造成太空更加激烈的攻防角力。太空國防架構的追蹤和運輸層約由90顆衛星組成，如此數量可能不足發揮嚇阻效果，讓競爭者不敢以動能或非動能手段遂行反太空作戰，藉此削弱或摧毀前述架構，癱瘓其飛彈預警和接戰資訊傳遞能力。

核武第一擊與反太空作戰都劍指太空國防架構，這個現象凸顯兵棋推演的迫切性，且須以極音速飛彈為主軸，推導包含多領域支援或輔助行動，以及針對未經實戰的飛彈防禦系統進行效能驗證，進一步瞭解接戰真實目標的可能情況，並驗證我方在應對攻勢飛彈戰術的反制成效。美國情報圈對未來中共和俄羅斯飛彈防禦架構與系統(包含核武反制飛彈)提出情報判斷，兵棋推演中也應將前述判斷納入驗證，深入探討美國極音速飛彈的後續運用。除此之外，進行兵棋推演時，亦應調整飛彈防禦架構與極音速飛彈數量，藉此分析三大主要軍事競爭者是否會因前述兩種因素而有不同作戰動機和作戰概念，甚至可能因此削弱核武競爭者的既有嚇阻思維。

以兵棋推演為重要分析工具之研究議程

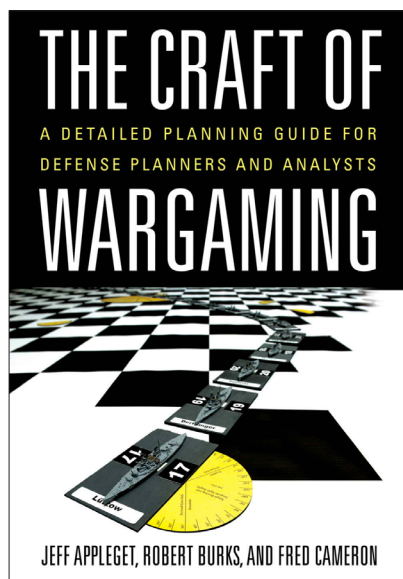
在未來軍事環境中引進極音速飛彈，衍生出相當多模糊且複雜的問題，而兵棋推演是探索這些問題的最佳工具。兵棋推演可以發展出具有指標性知識：「理想情況下，兵棋推演可指出預期戰爭行為的可能後果，以及某些潛在的因果鏈結」。⁶³

整體而言，兵棋推演過程至少可以產生六項分析效益，用於瞭解未來極音速飛彈聯合作戰環境。因此，在探索極音速飛彈擴散所造成之影響

時，兵棋推演是初步驗證作為的理想工具。首先，透過許多科技專家、操作人員和計畫人員的共同參與，兵棋推演非常適合用來深入探討，在區域衝突及不利本土情勢升高時，極音速飛彈擴散所代表的意涵。

兵棋推演時納編飛彈防禦科技專家，可以讓推演結果更貼近實際情況。針對區域或本土作戰執行推演時，兵棋設計人員透過設置飛彈防禦系統，瞭解競爭者如何運用極音速飛彈或其他手段遂行作戰。例如，強化飛彈防禦系統，是否會迫使競爭者投入更多枚極音速飛彈，遂行飽和攻擊？抑或轉而積極採取反太空戰作為，削弱太空飛彈防禦感測器效能？另外，兵棋設計人員和分析人員亦可進一步探討，競爭者部署及運用極音速飛彈的方式，是否會因應飛彈防禦架構和科技有所調整？其他軍事作戰方式是否也會有所改變？

第二，建立能夠與我軍(Blue Team)即時互動的假想敵(Red Team)，則可對當前研究議題產生即時回饋。此種動態互動可以發掘原本在團隊分析和計畫



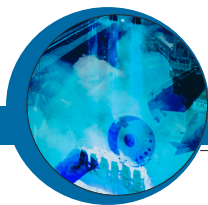
兵棋推演是在探索極音速飛彈擴散效應時，最理想的初步驗證工具，而《兵棋推演技藝》(*The Craft of Wargaming*，暫譯)亦為規劃人員的絕佳工具書，殊值參考運用。

(Source: DVIDS)

中未能看出的缺陷。不僅如此，活生生的「敵人」會提高兵棋推演的競爭性，讓參與者更努力創造能「擊敗」對手、「贏」得戰爭的作法。因此，即時互動的假想敵要能具備上述優點，最好找到優秀的團隊成員，這些人不僅瞭解極音速飛彈和特定敵人擁有的相關科技，同時或許更重要的，是瞭解這些極音速飛彈和相關科技在戰場環境下如何運用，以及其所望目的為何。

第三，極音速飛彈在運用上的相關議題十分繁瑣，因此，兵棋推演期間必須加以分析，並研擬相對應的解決方案。因時間有限且參與者興趣及精力並非源源不絕，使得單一兵棋推演幾乎難以充分解決這些研究問題。然而，兵棋推演相較實兵演習成本更為低廉，因此較能重覆實施，以探究這些議題的不同面向。在「戰略不確定」(Strategic Indeterminacy)情況下，更是難以分析極音速飛彈運用的相關議題。因為大部分的分析結果，都和人員互動及整體行動方案息息相關，彷如真實作戰場景。⁶⁴ 因此，兵棋推演也有助於探索戰略不確定的問題。

第四，透過兵棋推演，分析人員重新審視先前推演中發現的新議題、修正推演內容，或者重新檢視過去忽略的部分，更進一步針對極音速飛彈運用可能產生的重大作戰與戰略議題，進行廣泛而深入的分析。⁶⁵ 此種兵棋推演的迭代過程可作為參數分析，深入探究特定攻擊和防禦變數的調整會如何改變軍事行動，諸如反制極音速飛



參與者素質決定兵棋推演之良窳。因此，推演過程中，必須避免「為推而推」，應進行前瞻性創意思考，跳脫既有框架，方可更上一層樓。

(Source: US Army/Thomas Mort)

彈的有效要點防禦科技將會如何影響攻守平衡。

第五，兵棋推演也能提升參與者的素質。好的參與者——亦即那些容易接受「前瞻未來」想定和創意思考的人——往往在參與數次兵棋推演後會漸入佳境，因為他們會從先前的兵棋推演中學習，然後愈來愈熟悉各種想定、概念、敵我兵力和推演目標等。然而，必須防範一點，某些重覆參與者會變得為「推演」而推演。

最後，兵棋推演可以揭露原先沒有發現，在運用極音速飛

彈時所衍生的作戰議題、複雜攻防作為或戰略困境等。這些相關事項有部分來自於極音速飛彈和其他新興科技的整合，例如人工智慧等。⁶⁶ 或許人工智慧輔助型極音速飛彈，可能搭配其他武器投射系統，共同運用在群集或「無人載具自主協調達成任務的合作行為」。⁶⁷ 此種任務的例證之一，就是以極音速飛彈，打擊廣大區域內、離原始瞄準點數哩外的一群海軍作戰艦或補給艦。此種新問題及議題可能需要其他驗證工具——或許包含模式模擬、研究

小組或實兵演習及實驗等——才能對其如何影響美國作戰和戰略產生更深入的見解。

籌辦兵棋推演可探討一些研究問題，前述問題包含：

- 競爭者如何部署極音速系統，包含投射系統、酬載、發射載臺及陣地部署方式？
- 競爭者如何運用極音速載具遂行作戰以達成戰爭目的？他們選擇的目標型態、作戰概念、所望戰果及其原因為何？假如其極音速載具數量改變，作戰會如何因應調整？
- 競爭者會運用何種類型的主動和被動防禦手段，保護其高價值資產以抵禦極音速飛彈攻擊？他們在人工智慧輔助主動防禦措施對抗飛彈攻擊時，會給予何種程度的自主性？這些防禦手段將如何影響敵人對極音速載具的部署和運用？
- 競爭者如何整合極音速載具和其他動能與非動能行動？
- 極音速載具的部署與運用，如何影響競爭者的核武政策及態勢？競爭者是否會與

原本不存在極音速載具的情況殊異，而隨著競爭階段不同，逐次強化核武存活率？若要削弱美國、中共和俄羅斯對本土嚇阻的信念，或者誘使其率先使用核武，應該部署的極音速飛彈類型與數量為何？中共和俄羅斯極音速飛彈的數量和類型，對美國嚇阻力量延伸到友邦和夥伴的廣度與深度會帶來何種影響？

■ 極音速飛彈有其特性，若搭配彈道飛彈和巡弋飛彈進行飛彈攻擊，也能展現特殊作戰效果。能否透過特殊手段或作法，善用前述特性與成效，立即讓區域衝突升級到核武層面？美國核武政策或態勢上的某些改變，如何讓中共和俄羅斯在區域衝突中感受到核武升級的壓力？

■ 競爭者如何整合極音速載具與新興科技或輔助手段，或使用這些載具發展指揮、管制、通信、電腦、情報、監視及偵察系統，諸如人工智慧和機器學習等科技？極音速載具的部署與運用如何影響競爭者自身指管作為？極音速載具擴散會曝露出既有指管架構的哪些優點和弱點？競爭者認為該由那個指揮層級行使極音速載具指管？例如，在美國軍事行動中，美國戰略司令部對極音速飛彈行動的指管權如何影響陸軍部隊的任務式指揮，當這些部隊前推部署極音速飛彈，是否在打擊具時效性目標時，仍須跨越大西洋或太平洋取得授權？⁶⁸

■ 競爭者使用極音速載具所產生的威脅，會如何影響兵力投射及其他作戰概念？極音速載具廣泛使用如何影響美國前進基地設置和戰

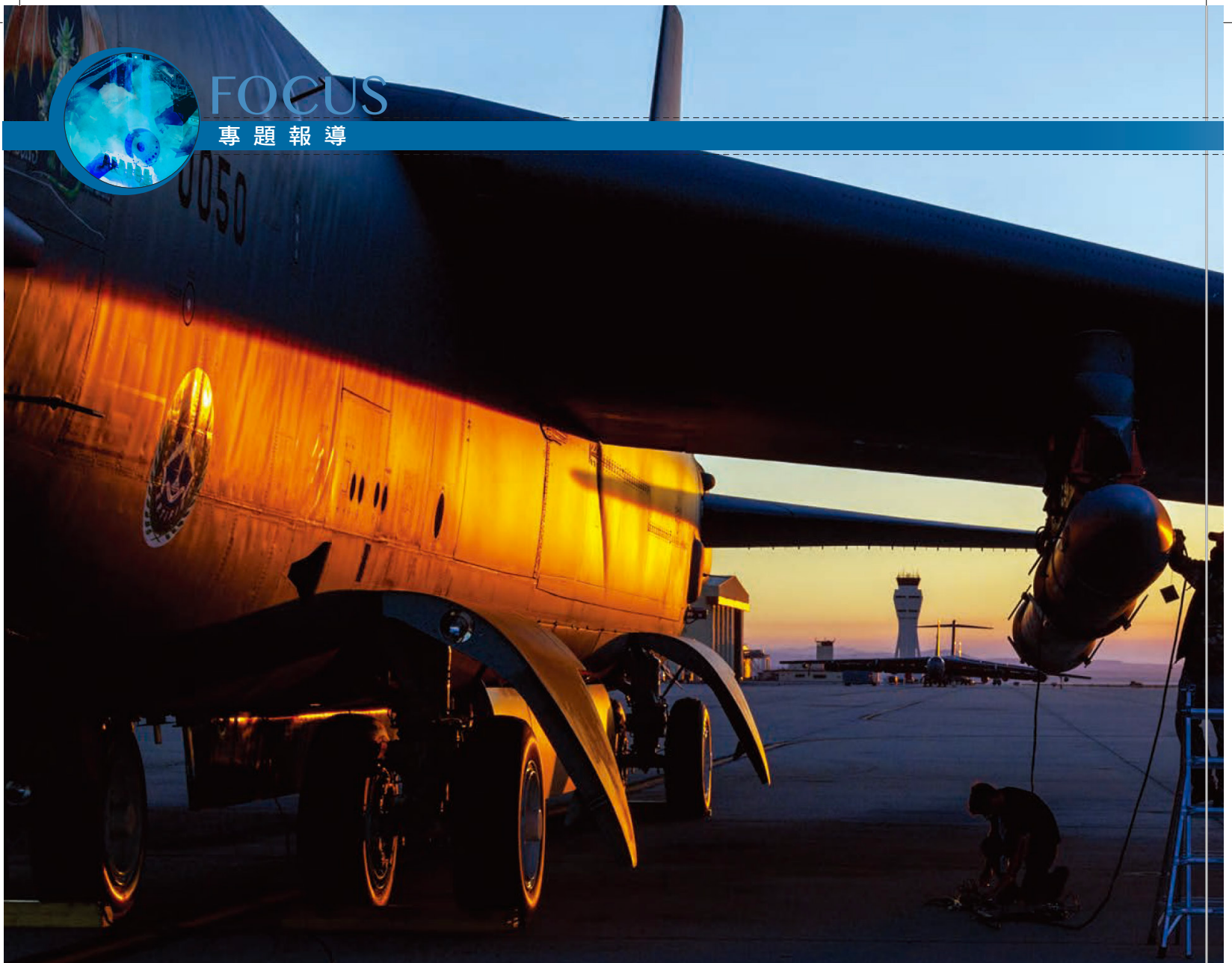


2020年7月28日，美陸軍第173空降旅第54工兵營傘兵，參與德國格拉芬韋赫(Grafenwöhr)訓練場的電子戰訓練策擬作業。(Source: US Army/Mathew Pous)

區兵力配置作法？

■ 作戰人員和計畫人員最重視極音速載具哪些潛在特質？原因為何(例如速度、精準導引、射程及突穿防禦的能力)？

時間有限，而且參與者興致終會消耗殆盡，因此，任何兵棋推演都不應該、也不可能一次找出所有研究問題的答案。這些問題多元、議題涵蓋層面錯綜複雜，不僅顯示重覆兵棋推演的價值，也說明針對大型作戰執行一系列兵棋推演時，部分推演內容應以兵力規劃為主軸，其餘演練則以聯合作戰為重點進行設計。除此之外，兵棋設計人員可以設計一套兵棋，以瞭解某個作戰場景所獲得之經驗教訓，如何以「步驟零」的方式重新應



用到原先兵力規劃階段。換言之，例如兵棋推演參與者在完成某個作戰層級兵棋推演的步驟一至三之後，推演統裁部可以將兵棋推演回推到承平時背景，讓參與者可以從事後分析的角度，探討其原本應該如何設計其兵力、配置及作戰概念，才能消除某些弱點，並強化他們在步驟一到三所觀察到的優點。當然，在此種兵棋推演中會浮現的許多問題和議題，都可以透過其他驗證工具進行進一步探究。

最後，必須提醒的是，切忌為了深入瞭解極音速飛彈的種種影響，而想在相關兵棋推演計畫中，產生「預設序列和進程」的期望。在一套可能

為期多年的研究計畫啟動前，不要盲目對研究問題和兵棋推演內容預先設計序列和進程，對於五角大廈的業管單位來說，如果業管人員和兵棋推演設計人員，得以在該項計畫的每個步驟密切合作，則可讓兵棋推演發揮更大效果。此類合作事項包括發掘業管單位高度重視的研究問題，並且決定分析相關問題所必須之兵棋設計層級和執行複雜度。就這一點而言，業管單位就能更充分瞭解，如何界定兵棋推演初期的首批研究問題。而進一步合作事項，包括確認近期兵棋推演之重要結論和觀察事項，是否發掘新的議題，值得在下次兵棋推演中立即進行分析。預先設定的僵化



2020年8月8日，AGM-183A「空射快速反應武器第二儀裝測量載具」測試組人員，在加州愛德華空軍基地極音速武器原型掛載 (Captive-Carry) 飛測前，執行最後準備工作。

(Source: USAF/Kyle Brasier)

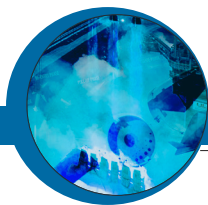
序列和進程，將會降低不同兵棋推演間的彈性，並讓美國國防部在其最迫切的研究與分析領域喪失當下學習機會。考量近期美國國防部武器系統獲得期程，此點尤其適用在極音速飛彈。

結語：左右競爭者選擇的契機？

兵棋推演在軍事驗證作為初期階段，可以發掘極音速飛彈是否會撼動主要競爭者戰略與作戰概念背後的假定事項。除非美國國防部採取兵棋推演作為(極音速武器在兵棋推演中被視為更廣泛軍事戰役的一環)，探究極音速飛彈擴散所造成之種種影響，否則國防分析圈可能在承平時

期仍無法確定極音速飛彈對於聯戰司令部的決策時程、所屬部隊存活率，以及作戰行動的其他面向，相較於常規彈頭飛彈和次音速巡弋飛彈所製造之效應，究竟會有多大落差。

假如，兵棋推演顯示極音速飛彈會對戰爭行為造成破壞性效應，則運用兵棋及其他驗證工具，分析其在軍事競爭中所扮演的角色，將有助於美國國防部研擬競爭戰略。競爭戰略是設計來運用實際與潛在軍事力量，刻意左右競爭者，並使對方在資源運用上相對缺乏效率，期能在漫長承平時期中，創造有利美國目標的條件。⁶⁹ 在美國國防部層級，競爭戰略將能專注於對美國長期



美軍應積極蒐集情資，透過兵棋推演發掘極音速飛彈所帶來的衝擊，並確遵總統國家戰略指導，由美國國防部研擬相應的競爭戰略，降低競爭對手資源運用效率，將國防預算花在刀口上。(Source: DoD/Lisa Ferdinando)

性或可以「透過適當研究和發展、投資、訓練等而使其具長期性」的競爭性優勢領域。⁷⁰ 不僅如此，此種戰略將可置重點於「不同國防體系的內

外互動」。⁷¹ 也由於此種互動關係，此競爭可能在數十年間不斷演進。

競爭戰略所建立的關聯性和參數，使美國國防部可據此決定與競爭者相比，美軍在攻擊型極音速系統及相關防禦手段方面所應挹注的資金。⁷² 此舉將可指出美軍如何建立並維持超越一個或多個競爭者的優勢。在研擬此種戰略時，情報圈應置重點於情資蒐集和分析，以幫助美國國防部瞭解競爭者的決策過程、武獲和準則等情資，進而預判敵軍反應和長期投資項目，並且形塑競爭關係，來維持或強化美國全球打擊優勢。

作者簡介

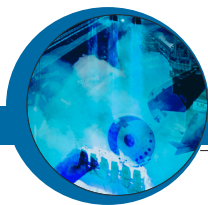
Bruce M. Sugden現為國防分析研究所(Institute for Defense Analyses)聯合先進作戰部門研究分析師。

Reprinted from *Joint Force Quarterly* with permission.

註釋

1. Tom Greenwood and Pat Savage, "In Search of a 21st Century Joint Warfighting Concept," *War on the Rocks*, September 12, 2019, available at <<https://warontherocks.com/2019/09/in-search-of-a-21st-century-joint-warfighting-concept/>>; Theresa Hitchens, "COVID Delays Joint Warfighting Concept: Hyten," *Breaking Defense*, January 22, 2021, available at <<https://breakingdefense.com/2021/01/covid-delays-joint-warfighting-concept-hyten/>>.
2. Dean Wilkening, "Hypersonic Weapons and Strategic Stability," *Survival* 61, no. 5 (October–November 2019), 132–134, available at <<https://doi.org/10.1080/00396338.2019.1662125>>.
3. James H. Kurtz, *Joint Warfighting Experimentation: Ingredients for Success* (Alexandria, VA: Institute for Defense Analyses, September 2000), 1; Kevin M. Woods and Thomas C. Greenwood, "Multidomain Battle: Time for a Campaign of Joint Experimentation," *Joint Force Quarterly* 88 (1st Quarter 2018), 19, available at <<https://ndupress.ndu.edu/Publications/Article/1411615/multidomain-battle-time-for-a-campaign-of-joint-experimentation/>>.
4. D. Robert Worley, *Defining Military Experiments* (Alexandria, VA: Institute for Defense Analyses, February 1999), 2, available at <<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA375425.pdf>>.
5. Robert G. Angevine, "Time to Revive Joint Concept Development and Experimentation," *War on the Rocks*, January 23, 2020, available at <<https://warontherocks.com/2020/01/time-to-revive-joint-concept-development-and-experimentation/>>.
6. Robert C. Rubel, "Wargaming for Innovation," *Information Dissemination*, December 15, 2014, available at <www.informationdissemination.net/2014/12/wargaming-for-innovation.html>.

7. Cameron L. Tracy and David Wright, "Modeling the Performance of Hypersonic Boost-Glide Missiles," *Science & Global Security* 28, no. 3 (2020), 135–170, available at <<https://doi.org/10.1080/08929882.2020.1864945>>.
8. 極音速滑翔載具在科技上的近親是變軌重返大氣載具，後者是以飛彈推進器發射，並透過發動機輔助或外部介面以調整最後階段飛行姿態。
9. Kelley M. Saylor, *Hypersonic Weapons: Background and Issues for Congress*, R45811 (Washington, DC: Congressional Research Service, December 1, 2020), 2, available at <<https://sgp.fas.org/crs/weapons/R45811.pdf>>.
10. "How Scramjets Work," NASA Fact Sheet, available at <www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/X43A_2006_5.html>.
11. Saylor, *Hypersonic Weapons*, 4–5.
12. Thomas Newdick, "Air Force Says New Hypersonic Missile Will Hit Targets 1,000 Miles Away in Under 12 Minutes," *The Drive*, October 13, 2020, available at <<https://www.thedrive.com/the-war-zone/37045/air-force-says-new-hypersonic-missile-will-hit-targets-1000-miles-away-in-under-12-minutes>>.
13. Saylor, *Hypersonic Weapons*, 5; Sydney J. Freedberg, Jr., "Army Discloses Hypersonic LRHW Range Of 1,725 Miles; Watch Out China," *Breaking Defense*, May 12, 2021, available at <<https://breakingdefense.com/2021/05/army-discloses-hypersonic-lrhw-range-of-1725-miles-watch-out-china/>>; Sydney J. Freedberg, Jr., "Army Sets 2023 Hypersonic Flight Test; Strategic Cannon Advances," *Breaking Defense*, March 19, 2019, available at <<https://breakingdefense.com/2019/03/army-sets-2023-hypersonic-flight-test-strategic-cannon-advances/>>.
14. Saylor, *Hypersonic Weapons*, 5.
15. Ibid., 7.
16. Lora Saalman, "China's Calculus on Hypersonic Glide," Stockholm International Peace Research Institute, August 15, 2017, available at <www.sipri.org/commentary/topical-background/2017/chinas-calculus-hypersonic-glide>.
17. Vladimir Isachenkov, "New Russian Weapon Can Travel 27 Times the Speed of Sound," *Associated Press*, December 27, 2019, available at <<https://apnews.com/article/vladimir-putin-moscow-ap-top-news-international-news-china-597e7f2b20b21af959e4c6983b255c37>>.
18. Saylor, *Hypersonic Weapons*, 12.
19. Ibid., 14.
20. Senate Armed Services Committee, *Statement of General Terrence J. O'Shaughnessy, USAF, Commander, U.S. Northern Command and North American Aerospace Defense Command*, 116th Cong., 2nd sess., February 13, 2020, 6.
21. 常規彈道飛彈和重返大氣載具雖然可做極音速飛行，但拋物線飛行軌跡屬可預期彈道，因此並未被列為一般所稱的極音速飛彈。參閱 Senate Armed Services Committee, *Statement of Michael Griffin on nomination to be Undersecretary of Defense, Research and Engineering*, 115th Cong., 2nd sess., January 18, 2018; S.J., "What Are Hypersonic Weapons?" *The Economist*, January 3, 2019, available at <<https://www.economist.com/the-economist-explains/2019/01/03/what-are-hypersonic-weapons>>.
22. Senate Armed Services Committee, *Statement of John E. Hyten, Commander, U.S. Strategic Command*, 116th Cong., 1st sess., February 26, 2019, 16, available at <https://www.armed-services.senate.gov/imo/media/doc/Hyten_02-26-19.pdf>.
23. Steven Simon, "Hypersonic Missiles Are a Game Changer," *New York Times*, January 2, 2020, available at <<https://www.nytimes.com/2020/01/02/opinion/hypersonic-missiles.html>>.
24. Paul McLeary, "China Loves DOD Acquisition Culture, Says R&D Chief Griffin; He Loves Hypersonics," *Breaking Defense*, March 6, 2018, available at <<https://breakingdefense.com/2018/03/china-loves-dod-acquisition-culture-says-r/>>.
25. Jyri Raitasalo, "Hypersonic Weapons Are No Game-Changer," *The National Interest*, January 5, 2019, available at <<https://nationalinterest.org/print/blog/buzz/hypersonic-weapons-are-no-game-changer-40632>>.
26. Thomas C. Schelling, *The Strategy of Conflict* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1960), 187–203.
27. Wilkening, "Hypersonic Weapons and Strategic Stability," 129.



28. Charles L. Glaser, *Analyzing Strategic Nuclear Policy* (Princeton: Princeton University Press, 1990), 6, 112.
29. Wilkening, "Hypersonic Weapons and Strategic Stability," 134.
30. Ibid., 137.
31. *Summary of the National Defense Strategy of the United States of America: Sharpening the American Military's Competitive Edge* (Washington, DC: Department of Defense [DOD], 2018), 6.
32. Joint Publication 3-0, *Joint Operations* (Washington, DC: The Joint Staff, January 17, 2017, Incorporating Change 1, October 22, 2018), VIII-11.
33. Ibid., VIII-5.
34. Philip S. Davidson, "Transforming the Joint Force: A Warfighting Concept for Great Power Competition," Address to West 2020, San Diego, California, March 3, 2020, available at <<https://www.pacom.mil/Media/Speeches-Testimony/Article/2101115/transforming-the-joint-force-a-warfighting-concept-for-great-power-competition/>>.
35. *Joint Operational Access Concept*, version 1.0 (Washington, DC: DOD, January 17, 2012), 15–16.
36. Dave Johnson, *Russia's Conventional Precision Strike Capabilities, Regional Crises, and Nuclear Thresholds*, Livermore Papers on Global Security No. 3 (Livermore, CA: Lawrence Livermore National Laboratory Center for Global Security Research, February 2018), 79, available at <<https://cgsr.llnl.gov/content/assets/docs/Precision-Strike-Capabilities-report-v3-7.pdf>>.
37. Ibid., 71; Victor A. Utgoff and Michael O. Wheeler, *On Deterring and Defeating Attempts to Exploit a Nuclear Theory of Victory* (Alexandria, VA: Institute for Defense Analyses, April 2013), iii.
38. Johnson, *Russia's Conventional Precision Strike Capabilities, Regional Crises, and Nuclear Thresholds*, 93.
39. Ibid., 24, 44, 93.
40. Michael Kofman, Anya Fink, and Jeffrey Edmonds, *Russian Strategy for Escalation Management: Evolution of Key Concepts* (Arlington, VA: CNA, April 2020), iii.
41. Johnson, *Russia's Conventional Precision Strike Capabilities, Regional Crises, and Nuclear Thresholds*, 48; Martin Dempsey, interviewed by Peter Feaver, video, 1:06:26, Rutherford Living History, Sanford School of Public Policy, Duke University, April 11, 2016, available at <<http://livinghistory.sanford.duke.edu/interviews/martin-dempsey/>>.
42. 引自Johnson, *Russia's Conventional Precision Strike Capabilities, Regional Crises, and Nuclear Thresholds*, 53.
43. Ibid., 53–54.
44. Ron Christman, "Conventional Missions for China's Second Artillery Corps: Doctrine, Training, and Escalation Control Issues," in *Chinese Aerospace Power: Evolving Maritime Roles*, ed. Andrew S. Erickson and Lyle J. Goldstein (Annapolis, MD: Naval Institute Press, 2011), 318–319.
45. Michael S. Chase, "Second Artillery in the Hu Jintao Era: Doctrine and Capabilities," in *Assessing the People's Liberation Army in the Hu Jintao Era*, ed. Roy Kamphausen, David Lai, and Travis Tanner (Carlisle, PA: Strategic Studies Institute, April 2014), 315–316.
46. Ian Williams, "The Russia-NATO A2AD Environment," *Missile Threat*, Center for Strategic and International Studies, January 3, 2017, last modified November 29, 2018, available at <<https://missilethreat.csis.org/russia-nato-a2ad-environment/>>.
47. Kelley M. Sayler and Stephen M. McCall, "Hypersonic Missile Defense: Issues for Congress," *In Focus*, Congressional Research Service, updated June 11, 2021, 1.
48. "The System: A System of Elements," Missile Defense Agency, n.d., available at <www.mda.mil/system/elements.html>.
49. *2019 Missile Defense Review* (Washington, DC: DOD, 2019), 41.
50. Warren J. Boord and John B. Hoffman, *Air and Missile Defense Systems Engineering* (Boca Raton, FL: CRC Press, 2016), 159.
51. Wilkening, "Hypersonic Weapons and Strategic Stability," 142.
52. Boord and Hoffman, *Air and Missile Defense Systems Engineering*, 25.

53. Fred M. Kaplan, "Enhanced-Radiation Weapons," *Scientific American* 238, no. 5 (May 1978), 44–45.
54. Richard L. Garwin and Hans A. Bethe, "Anti-Ballistic Missile Systems," *Scientific American* (March 1968), 259–268, available at <www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00396336808440897>.
55. Julian E. Barnes and David E. Sanger, "Russia Deploys Hypersonic Weapon, Potentially Renewing Arms Race," *New York Times*, December 27, 2019, available at <www.nytimes.com/2019/12/27/us/politics/russia-hypersonic-weapon.html>.
56. *2016 Nuclear Matters Handbook* (Washington, DC: DOD, 2016), 198, available at <<https://www.lasg.org/Nuclear-Matters-2016.pdf>>.
57. *Russian Military Power: Building a Military to Support Great Power Aspirations* (Washington, DC: Defense Intelligence Agency, 2017), 31.
58. Joseph Trevithick, "Russia's S-500 Air Defense System Reportedly Hits Target Nearly 300 Miles Away," *The Drive*, May 24, 2018, available at <www.thedrive.com/the-war-zone/21080/russias-s-500-air-defense-system-reportedly-hits-target-nearly-300-miles-away>.
59. Sydney J. Freedberg, Jr., "Space-Based Missile Defense Can Be Done: DOD R&D Chief Griffin," *Breaking Defense*, August 8, 2018, available at <<https://breaking-defense.com/2018/08/space-based-missile-defense-is-doable-dod-rd-chief-griffin/>>.
60. Saylor and McCall, "Hypersonic Missile Defense," 1–2.
61. Ibid., 2.
62. 有關中共看待美國飛彈防禦之企圖，參閱 Tong Zhao, *Narrowing the U.S.-China Gap on Missile Defense: How to Help Forestall a Nuclear Arms Race* (Washington, DC: Carnegie Endowment for International Peace, 2020), 5–6, available at <https://carnegieendowment.org/files/Zhao_USChina_MissileDefense.pdf>. 有關俄羅斯看待美國飛彈防禦之企圖，參閱 Austin Long, "Red Glare: The Origin and Implications of Russia's 'New' Nuclear Weapons," *War on the Rocks*, March 26, 2018, available at <<https://warontherocks.com/2018/03/red-glare-the-origin-and-implications-of-russias-new-nuclear-weapons/>>.
63. Robert C. Rubel, "The Epistemology of War Gaming," *Naval War College Review* 59, no. 2 (Spring 2006), 5, available at <<https://digital-commons.usnwc.edu/nwc-review/vol59/iss2/8>>.
64. John T. Hanley, Jr., "Changing DOD's Analysis Paradigm: The Science of War Gaming and Combat/Campaign Simulation," *Naval War College Review* 70, no. 1 (Winter 2017), 81.
65. Rubel, "Wargaming for Innovation."
66. Kris Osborn, "How the U.S. Military Will Combine Hypersonic Missiles With AI," *The National Interest*, November 13, 2020, available at <<https://nationalinterest.org/blog/buzz/how-us-military-will-combine-hypersonic-missiles-ai-172610>>.
67. Kelley M. Saylor, "Defense Primer: Emerging Technologies," *In Focus*, Congressional Research Service, updated November 30, 2020, 1, available at <<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11105>>.
68. Senate Armed Services Committee, *Statement of Admiral Charles A. Richard, USN, Commander, U.S. Strategic Command*, 117th Cong., 1st sess., April 20, 2021, 25. 作者特別感謝Thomas Greenwood提醒有關任務式指揮的問題。
69. Elizabeth Bartels, "Getting the Most Out of Your Wargame: Practical Advice for Decision-Makers," *War on the Rocks*, January 26, 2016, available at <<https://warontherocks.com/2016/01/getting-the-most-out-of-your-wargame-practical-advice-for-decision-makers/>>.
70. A.W. Marshall, "Competitive Strategies—History and Background," March 3, 1988, 2; Abram N. Shulsky, "Understanding the Nature of 'the Other,'" in *Net Assessment and Military Strategy: Retrospective and Prospective Essays*, ed. Thomas G. Mahnken (Amherst, NY: Cambria Press, 2020), 182–183.
71. Thomas G. Mahnken, "Thinking About Competitive Strategies," in *Competitive Strategies for the 21st Century: Theory, History, and Practice*, ed. Thomas G. Mahnken (Stanford: Stanford University Press, 2012), 7.
72. Marshall, "Competitive Strategies—History and Background," 7.