



● 作者/Mark Gunzinger ● 譯者/袁平 ● 審者/黃坤銘

美空軍精準 導引彈藥整備

Affordable Mass: The Need for a Cost-Effective PGM Mix for Great Power Conflict

取材/2021年11月美國空軍月刊 (Air Force Magazine, November/2021)

空中火力無法有效深入敵後，遠程遙攻彈藥無法大量採購，敵軍大量部署移動式載臺等因素，大幅限縮美空軍作戰優勢。為因應大國競爭，空軍應建立符合成本效益的多元彈藥組合，讓匿蹤機種攜帶中程精準彈藥遂行近攻打擊，以有效反制新形態的敵軍目標。

過去數十年，美空軍現代化計畫屢遭推遲與撤案，逐漸失去對實力匹敵對手的領先優勢，部隊兵力在遂行現行作戰任務顯得力不從心。與此同時，空軍預算吃緊且長期不如陸軍和海軍。若欲優化未來戰力，空軍必須明智取捨。其中最重要的選項之一即為發展精準導引彈藥(Precision-Guided Munition, PGM)存量，以因應與實力匹敵對手衝突的戰略。空軍必須全盤考量精準導引彈藥的射程、彈體大小、飛行速度、戰場存活率及作戰效能，方可維持對中共和俄羅斯的遠程打擊優勢。空軍必須研發符合成本效益的新一代中程(50至250哩)精準導引彈藥體系，

並可透過匿蹤機種進行空中投射，以提高未來打擊作戰能力與成本效益。

多位國防專家明確指出，美空軍須跟上中共和俄羅斯的步調，部署新型匿蹤機種，但卻忘記第五代F-35戰機和B-21匿蹤轟炸機也為美軍戰區指揮官帶來另一項優勢——能夠突穿戰區執行「近攻」(Stand-In)打擊，每梯次空中攻擊可擊殺多個目標。此種突穿爭端地區(Contested Area)的精準導引彈藥投射能力，讓匿蹤機種能夠酬載更多相對小型的彈藥——此種彈藥無長程飛行能力，亦未搭載推進系統等元件。

例如，B-2轟炸機具突穿能力，其二組彈艙可



美空軍非匿蹤B-52必須依賴長程遙攻精準導引彈藥，攻擊位於反介入/區域拒止環境中的目標。增程型聯合空對地遙攻飛彈射程超過500哩。(Source: Mitchell Institute)

容納48枚射程50至150哩的近攻武器，而非匿蹤B-52轟炸機的彈艙及外部掛點，總計可攜帶20枚增程型聯合空對地遙攻飛彈(Joint Air-to-Surface Standoff Missile-Extended Range, JASSM-ER)——此飛彈屬長程巡弋飛彈。每架次B-2在執行突穿打擊時，最多可攻擊48個目標，然B-52僅可打擊20個目標，且須在500哩外遂行遙攻打擊任務。

遙攻打擊武器造價高昂，須籌獲發動機、燃料、導引系統及尋標器等高單價品項。次音速增程型聯合空對地遙攻飛彈造價約為110萬美元(中程武器成本的六倍)。小口徑炸彈二型(Small-Diameter Bomb II, SDB II)即為中程武器，這是250磅的無動力導引炸彈，以滑翔方式攻擊目標。研

發中的極音速(五馬赫以上)武器成本更高，每具極音速進氣式武器概念(Hypersonic Air-breathing Weapon Concept, HAWC)載臺造價可能高達三百到四百萬美元。成本至關重要，因為美國國防部必須採購足量的精準導引彈藥，才能在對抗中共或俄羅斯的戰役中，打擊十萬個以上的目標(1991年，美空軍在沙漠風暴攻擊大約四萬個伊拉克境內目標，伊拉克的部隊規模較小且戰力遠不如中共或俄羅斯)。

「有什麼打什麼」亦可套用於彈藥及各型機的作戰效益評估上。當前部隊若配賦舊有彈藥，則易遭敵反制、無法有效打擊特定目標，抑或因數量太少而無法壓制敵軍，就無法在與實力匹敵對手的衝突中克敵制勝。美國國防部目前庫存彈藥

中，多數空對地彈藥是用來攻擊防空能力較弱的部隊，但在面對實力匹敵對手配備先進整體防空系統(Integrated Air Defense Systems, IADS)時，則須採用較先進的武器方可進行突穿。前述議題刻不容緩。研發先進精準導引彈藥與提高產能曠日廢時，片刻耽擱恐導致當前情況雪上加霜。

美空軍除了採購可突穿先進整合防空系統的F-35和B-21外，還須搭載新一代武器。空軍空戰司令部司令凱利上將(Mark D. Kelly)曾表示，空軍尚無貨真價實的第五代飛行部隊，因為「第五代戰機尚未掛載第五代武器，亦未具備第五代偵蒐能力」。現役F-35、F-22、B-2與未來的B-21，若僅掛載第三代精準導引彈藥，作戰效益將大打折扣。

美國國防部刻正著手開發多款新型精準彈藥，但仍集中心力研製超遠程武器，並規劃由非匿蹤機種進行掛載，以便在敵空中及飛彈防禦系統射程外進行遙攻。然而，這些超遠程遙攻彈藥，每枚造價高達數百萬美元，恐無法有效打擊快速變換陣地的移動式目標(如直立式發射架運輸載具[Transporter-Erector-Launcher, TEL])，以及在堅固工事內保持戰力的敵軍。設計長距離飛行武器也會提高成本，因其必須有發動機、燃料、多重導引系統，甚至可能需要尋標器，才能將彈頭精準導引至指定目標。

回顧過往

30年前，伊拉克入侵科威特，當時美空軍配備新一代導引武器重挫伊軍。空軍在沙漠風暴展現所向披靡的打擊能力，無人可與其分庭抗體。然

而，過往的空對地精準導引彈藥卻無法有效反制勢均力敵對手，抑或應對配備先進武器裝備的區域強權。為何淪落至此？

1990年，美軍挹注經費研發精準導引技術、匿蹤機種及新型感測器，形塑對美軍打擊部隊有利的攻守態勢。當時，美空軍研發新一代戰機與彈藥，大幅提高武器系統射程、飛行速度、戰場存活率與殺傷力，可有效反制冷戰時期防空系統，精準打擊所望目標。蘇聯解體後，美國國防部改以區域應變為作戰場景，而不再以全球性衝突中的實力匹敵對手為假想敵。1993年，國防部《通盤檢討方案》(Bottom-Up Review)揭槩，美國全球安全利益的主要威脅，已然轉變為伊拉克及北韓等小型國家的侵略。這些區域型假想敵大多部署老舊防空系統，操作人員缺乏訓練，而導致武器系統無法有效發揮作戰能力。因此，國防部刪減或終止相關計畫，中斷生產未來戰場所需之新型匿蹤機種及彈藥。其後15年，空軍提出132架B-2、750架F-22及1,460枚匿蹤先進巡弋飛彈的採購需求，然最後國防部核定採購數量分為21架、187架及460枚。另外，國防部撤銷短程攻擊飛彈二型(Short-Range Attack Missile, SRAM II)及三軍遙攻飛彈(Tri-Service Standoff Attack Missile, TS-SAM)採購案，並將空軍F-4G及EF-111除役，大幅削弱其壓制敵防空的能力。

1993年，美國國防部《通盤檢討方案》中提及，將投入研發新型「精靈」(Smart)精準導引反裝甲彈，以有效反制北韓及伊拉克的機械化裝甲部隊。另外，「全天候」(All-Weather)精準導引彈藥(如聯合直攻彈藥)也是未來發展重點。從沙漠



成本決定數量

武器造價愈高，美國國防部採購數量愈少。下表列出九款彈藥射程、平均單價及美空軍與海軍的總庫存數。

	射程(哩)	平均單價	採購/簽約數量
各式聯合直攻彈藥	最大15	25,000以上	375,403
小口徑炸彈	40以上	36,000	50,769
小口徑炸彈二型	40以上	186,000	10,724
聯合遙攻武器	最大70	357,000	5,168
聯合空對地遙攻飛彈	200以上	698,000	2,034
先進反輻射導引飛彈	60以上	970,000	2,475
增程型聯合空對地遙攻飛彈	500以上	1,048,000	5,166
增程型先進反輻射導引飛彈	120	1,578,000	2,097
長程攻船飛彈(聯合空對地遙攻飛彈的衍生型)	200以上	3,162,000	410

風暴中，美軍體認天候、沙塵、煙幕等因素，均會大幅降低雷射導引空對地武器的作戰效能。非匿蹤的聯合直攻彈藥接收全球定位系統參數，可在各種天候條件下精準打擊目標，攻擊距離長達15哩。此種彈藥單價為2萬5,000至4萬5,000美元，成為後冷戰時代最具代表性的空對地精準導引彈藥。

後冷戰時期精準導引彈藥

過去30年，美國國防部長期偏好低成本直攻彈藥。例如，1999年「聯軍行動」(Operation Allied Force)期間，聯軍發射2萬8,018枚直攻彈藥、743枚高速反輻射飛彈(High-Speed Anti-Radiation Missile, HARM)及278枚巡弋飛彈。同樣地，在「持久自由作戰行動」(Operation Enduring Free-

dom)及「伊拉克自由作戰行動」(Operation Iraqi Freedom)空中戰役中，聯軍消耗5萬213枚直攻彈藥、1,012枚巡弋飛彈及408枚高速反輻射飛彈。整體而言，在這些空中戰役中，97%的空對地彈藥皆屬直攻彈藥。2004到2019年，美國與其友邦的各型機在伊拉克、阿富汗及敘利亞的反恐和綏靖作戰中，對目標投射大約17萬6,000枚彈藥——所有彈藥幾乎都是聯合直攻彈藥與直攻型地獄火飛彈。

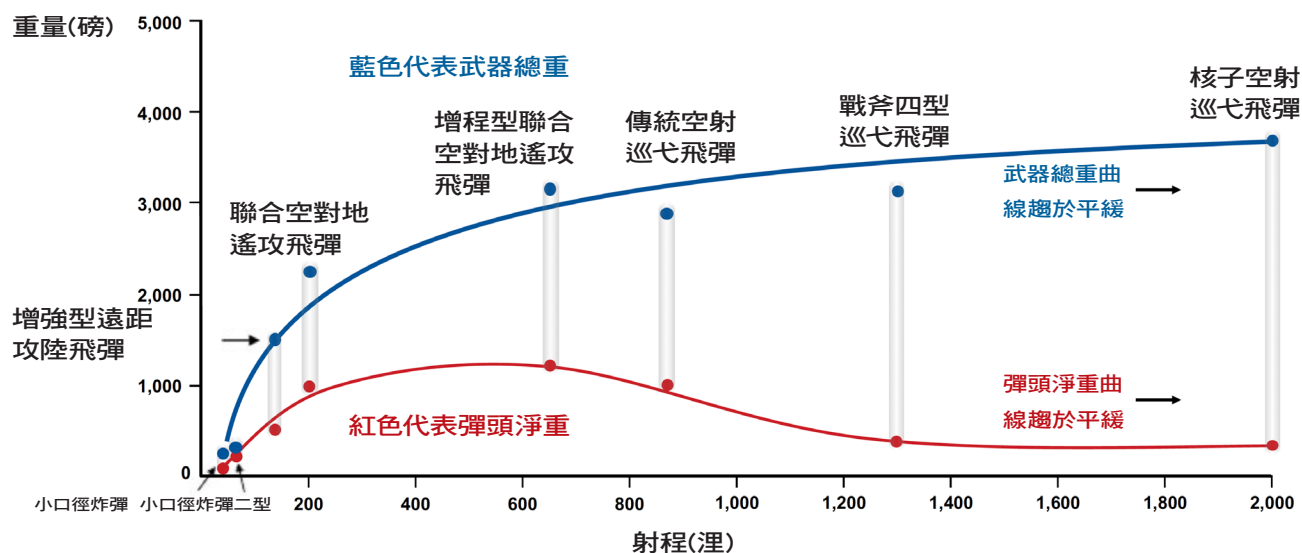
然而，現在精準打擊的攻守平衡再次發生變化，使得這些傳統武器無法應對未來衝突。

精準導引彈藥的多樣組合需求

中共與俄羅斯現代化部隊的兵力規模及科技水準，遠勝於美國過去數十年的競爭對手。兩國

武器愈大，彈頭愈小

隨著精準導引彈藥的射程增加，其彈體與總重亦隨之增加，但彈頭的尺寸與淨重卻相對減少，而導致破壞力減弱。



擁有先進武器系統，可有效發揮空中、海上、太空、網路空間及電磁頻譜(Electromagnetic Spectrum, EMS)的拒止能力，印太地區與其他戰區相距甚遠，更增添精準打擊作戰的複雜性。

為了克服這些挑戰，打擊機作戰半徑須涵蓋中共及俄羅斯領土，方可有效打擊其境內目標；妥善運用第五代匿蹤科技，方可在競爭激烈的戰場環境下存活；攜帶大量彈藥、配備感測器及安裝任務規劃系統，才能即時偵獲移動目標或部隊陣地

變換狀況，予以有效打擊。

美空軍除籌獲F-35及B-21外，仍須添購空對地精準彈藥，隨時保有足以對抗競爭對手的彈藥存量。空軍須調整精準導引彈藥組合，讓新一代戰機攜帶中程精準彈藥以遂行近攻打擊，這也是目前的最佳方案。這樣一來，可以和實力匹敵對手進行持久作戰。前述精準彈藥組合可彌補第五代戰機及轟炸機的戰力罅隙，提升空軍整體戰力，更能有效打擊移動式、堅固暨深層目標，並在預算許可的情況下滿足戰區指揮官的需

求。

長程打擊

美軍戰區指揮官所屬部隊必須具備能攻擊敵軍機場、港口、指管單位、彈道飛彈系統及重要軍工設施等數以萬計的目標，無論是位在敵國周邊地區，亦或深入其國土內部。然而，美空軍戰機主要由非匿蹤戰機組成，不適合在爭端地區遂行作戰。小型轟炸機則由非匿蹤的76架B-52與44架B-1，以及為數20架具突穿能力的匿蹤B-2組成，此機隊也面臨前述窘境。因



此，多數非匿蹤戰機及轟炸機，都高度依賴長程遙攻精準導引彈藥，來提高戰場存活率，這將造成作戰上的諸多限制。例如，非匿蹤轟炸機只能在距離陸基整體防空系統500至800哩處發射巡弋飛彈，這樣一來，只能攻擊中共部分潛在軍事目標。中共內陸的反衛星武器、彈道飛彈部隊及指管設施，就要運用其他手段實施打擊。雖然第五代戰機具備突穿能力，但囿於作戰半徑而必須攜帶長程武器。然而，攜帶中程近攻武器的匿蹤轟炸機可遂行此項任務，有效突穿敵軍防線，攻擊中共內陸目標。此外，他們可出其不意地發動攻擊，讓敵軍防空作戰面臨更多挑戰。

精準導引彈藥必須能在戰場存活

1990及2000年代，敵軍防空系統與時下武器系統大相逕庭。現在，俄羅斯及中共的整體防空系統可拒止第四代非匿蹤戰機，並可有效反制非匿蹤的次音速巡弋飛彈等單一精準導引彈藥。

俄羅斯S-300V(SA-12)、S-300PMU-1/2(SA-20A/B)及S-400(SA-21)等飛彈系統都裝載於自走式輪型車輛上，可在數分鐘內完成裝備撤收放列。新型相列雷達則具備抗干擾能力。俄羅斯最新的地對空飛彈亦配備能夠同時追蹤多批目標的主動電子掃描陣列(Active Electronically Steered Array, AESA)雷達。部分地對空飛彈系統雷達則以低頻進行搜索，藉此提高匿蹤戰機的偵獲率。中共也部署俄製S-300及S-400防空系統，並進一步發展為長程紅旗-9(HQ-9)。雷達能透過網路跨頻譜整合，讓長程及短程地對空飛彈，能從全領域內的多組雷達同時接收目標資料。

1990年代防空系統與現代整體防空系統的另一項主要差異，即為當前系統已具備接戰巡弋飛彈及其他導引彈藥的能力。這些整體防空系統包括俄製SA-15道爾(Tor)、SA-19通古斯卡(Tunguska)及SA-22鎧甲(Pantsir)等機動地對空飛彈系統，具備反制低空飛行載具、巡弋飛彈、反輻射飛彈及各式炸彈的能力。中共自行研製道爾衍生型飛彈系統(重新命名為紅旗-17[HQ-17])，以及類似鎧甲的FK-1000短程要點防空(Point Defense)系統。前述短程武器系統均完全整合電戰系統及長程地對空飛彈。

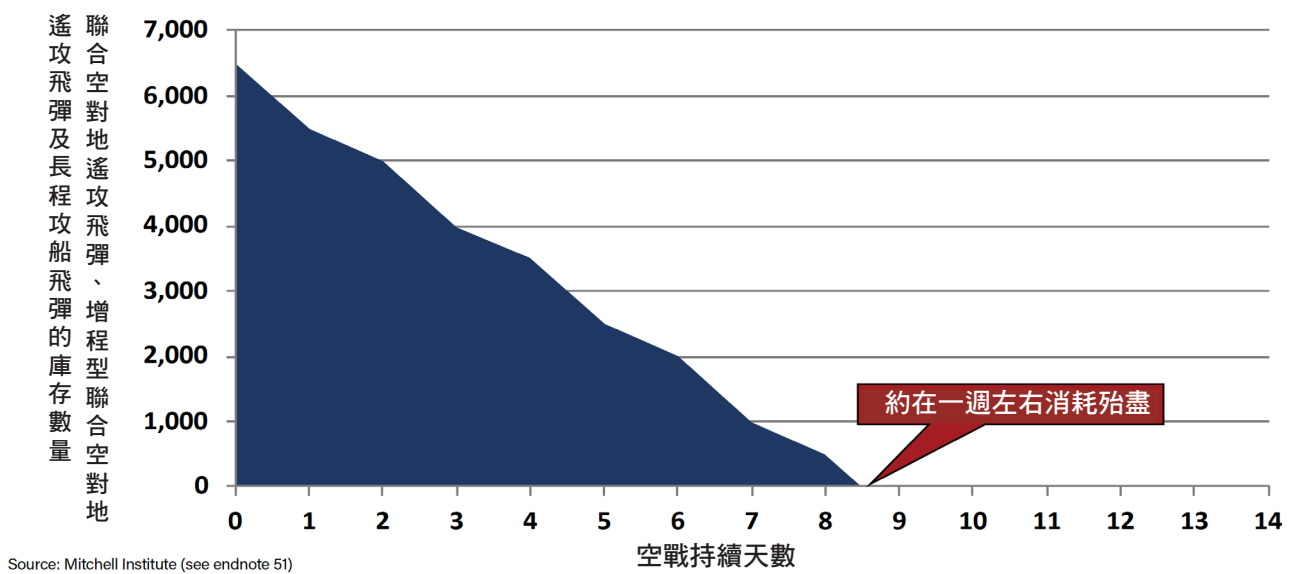
為了反制這些威脅，美空軍可能不得不重取「多架次出擊單一目標」戰略，捨棄「單架次出擊多個目標」的作法。問題是，當前空軍兵力規模小，無法滿足這種高成本的作戰方式。

另一種方法，則是開發防空系統難以攔截的極音速武器。美國國防部正在研發極音速武器，以便遠距離打擊爭端地區的時效性目標。但是，囿於前述武器體積較大，戰機及轟炸機每架次出擊所攜帶武器數量將會減少。部分體積大到只能由轟炸機進行外部掛載，而無法使用由匿蹤戰機及轟炸機裝載。尤有甚者，超長程極音速武器在離架後仍須再多飛行十幾分鐘才能擊中目標，讓敵人有時間進行偵測與遂行反制作為。最後是極音速武器高達數百萬美元的天價，更限制空軍實際採購數量。

較適方案是部署能夠突穿先進整體防空系統的新一代中程近攻武器。新一代近攻武器射程介於50至250哩，可提高美空軍的殺傷力，大幅降低爭端環境中擊殺目標所需的出擊架次及武器數

一週八天

理論上，美空軍若與中共或俄羅斯發生衝突，將會在短短八天內耗盡增程型聯合空對地遙攻飛彈及長程攻船飛彈的庫存數量。美軍其他軍種或北約友邦無法投送類似戰力。



量，亦使得執行突穿任務的戰機，在面對高風險防空武器時能採取更多元的高能量(High-Capacity)打擊手段。況且，前述近攻武器成本與小口徑炸彈一、二型相仿(單價低於30萬美元)，空軍可大量採購。

攻擊移動式或強化型目標

中共及俄羅斯高價值武器系統機動性日益提升，使得美軍遂行遠距離偵獲、定位、追蹤、瞄準與攻擊相對不易。敵軍將目標深埋地下，或是將軍事設施設置於強化型掩體內，更是提高美軍的攻擊難度。

儘管高速——甚至是極音速——巡弋飛彈可有效打擊移動式目標，但其高昂成本將限制空軍與其他軍種的採購數量。在許多情況下，匿蹤機種更

符其成本效益，因為能夠突穿爭端地區，投射大量成本相對低廉的中程近攻武器。具突穿能力的機種(如F-35A型和B-21)亦配備機載任務系統，可獨立偵獲與攻擊移動式或執行陣地變換的目標。如此一來，不僅可簡化擊殺鏈，亦可提高打擊效益，短程近攻的打擊能力也縮短敵人反應時間。

摧毀堅固暨深層目標則是另一種挑戰。飛彈射程增加，尺寸及總重也會隨之增加，才能裝載長距離飛行時所需的燃料及裝置。在此同時，彈頭尺寸也相對縮小。攻擊深層設施(如高階指揮官所處碉堡及囤儲大規模毀滅性武器的強化型掩體)需要更大型常規彈頭。只有轟炸機才能攜帶大型「碉堡剋星」(Bunker Buster)直攻武器(如5,000磅的GBU-28及3萬磅的GBU-57)執行遠距投送。然而，中程精準導引彈藥配備強化型彈頭，亦為突



穿強化型目標的可行方案。

數以萬計的目標

美空軍目前缺乏足夠的精準導引彈藥，無法依據《國防戰略》要求，一方面應對中共或俄羅斯的長期戰役，同時滿足其他戰區的作戰需求。這是冷戰後計畫所衍生的後果。計畫內假定事項述明，美國國防部的兵力規模(包含彈藥庫存)，僅須因應弱化的區域威脅，遂行短期作戰即可。然而，美國與中共或俄羅斯一旦發生空戰，各型機每日出勤架次高達數百架，戰事將持續數週。若無充足精準導引彈藥，即便參戰空中兵力數量再多，空軍仍無法維持高節奏打擊任務。

在與中共或俄羅斯的戰爭中，快速量產精準導引彈藥，進而滿足戰區指揮官的作戰需求極為關鍵，亦應納入空軍作戰計畫，以應對實力匹敵對手的未來作戰。因此，須擴充現有設施的戰時產能，抑或維持合約商平時彈藥生產的裕度，方可在戰時因應急需、加速增產。若精準導引彈藥庫存不足，又無法增加產能，恐使侵略者認為有機可乘，待美軍現有打擊能量消耗殆盡後，繼續纏鬥下去，就能取得最終勝利。

成本效益最大化

長程遙攻武器打擊移動式、機動變換陣地及其他屬性的目標有其作戰限制。此種武器成本偏高，亦成為大量採購時的限制因素。精準導引彈藥的成本會隨著射程與精密程度而提高。這意味射程最遠、複雜度最高的武器系統，通常都採小批量購買。美海軍每年僅採購幾百枚戰斧巡弋飛

彈，而在長程遙攻武器計畫內，採購總數則是遠低於一萬枚。

較符合成本效益的方案，就是投資新一代中程精準導引彈藥。這些飛彈可由具突穿能力的匿蹤轟炸機及戰機大量攜帶。其他精準導引彈藥計畫指出，如要採購應對高強度實力匹敵對手所需數量，新型武器採購單價應控制在30萬美元以下。新型中程精準導引彈藥將有助於達成此目標。具突穿能力的戰機及轟炸機可攜帶此種彈藥，以遂行近攻打擊任務，空軍亦可在預算額度內採購未來作戰所需的庫存量。

最後，美空軍必須審慎評估仰賴非匿蹤機種遂行遠距投射。因為這些武器成本高昂，在與中共或俄羅斯發生衝突時，非匿蹤機種(如B-52及F-15EX型戰機)可能很快就將增程型聯合空對地遙攻飛彈及其他遙攻武器消耗殆盡。未來彈藥組合應包含大量符合成本效益的中程近攻彈藥，以建立充足彈藥存量，並讓敵軍知道，空軍對任何威脅美國、聯軍或友邦的侵略行為均已做好萬全準備。

結論

空軍應採取戰略，將陳舊的精準導引彈藥庫存調整為更符合未來作戰場景的彈藥組合，方可在應對實力匹敵對手時取得最大優勢，遵循以下五個步驟：

- 優先部署「第五代戰機適用的第五代武器」，充分利用匿蹤機種較佳的續航力、戰場存活力及在爭端地區獨立完成擊殺的能力。
- 將中程(50至250哩)精準導引彈藥納入組合，



美空軍非匿蹤 B-1 高度依賴長程遙攻精準導引彈藥來提高戰場存活率。加州愛德華(Edwards)空軍基地的兵器維護士，正將聯合空對地遙攻飛彈(JASSM)掛載至B-1B槍騎兵(Lancer)轟炸機的外部掛點。(Source: USAF/Joshua Miller)

由具突穿能力的機種將其投射在10萬多個分散目標上。

- 武器單價的目標價必須低於30萬美元，讓這些新型中程近攻精準導引彈藥能「炸在刀口上」。
- 建立新型武器的低雷達觀測度(Low Observability)及其他性能的基準，使其能夠突穿先進整體防空系統，摧毀指定目標。
- 確保新型中程精準導引彈藥能有效反制移動式、機動變換陣地、堅固暨深層目標。

當美空軍建制足以應對大國衝突的精準導引彈藥組合時，絕對不能忘記自己具備其他軍種或聯軍部隊都無法比擬的優勢：先進第五代戰機及

匿蹤轟炸機數量正不斷增加。研發適合在爭端地區作戰的中程近攻精準導引彈藥，將有助空軍為其匿蹤部隊創造有利態勢。這件事「勢在必行」——如果世界上最頂級、最高端的機種缺乏足量的精準導引彈藥，無法具備應對大國衝突所需戰力、戰場存活力及作戰效益，那麼這些空中兵力就毫無用武之地。

作者簡介

Mark Gunzinger是美空軍備役上校，目前為米契爾(Mitchell)航太研究所未來概念暨戰力評估部主任。

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