



## 軍事戰略

# 分析俄製現代化 防空系統之發展

軍事學碩士 耿志雲

## 壹、前言

現代化防空系統為多功能戰鬥機、地面雷達防情管制站台、空中預警機、防空飛彈陣地、野戰防空火炮、反彈道高空攔截飛彈、海面反彈道飛彈軍艦、多功率多波段加密資料鏈路等單元共同組合而成的防空作戰編制，在當今世界各國國防裝備位階屬於第一線戰備單元，具備創造與扭轉戰局之效果。

以「首戰即決戰」之現代戰爭理論，現代化防空系統除有保障國土安全的直接功能之外，對於軍備工業發達的軍武輸出國而言，更具備團結盟國與地緣戰略的布局，其影響層面甚至廣泛擴及大國與地區盟友的長期安全、軍事合作等戰略意義，尤其中共軍備發展與使用準則深受俄製系統影響，因此，防空系統的發展與部署乃不可小覷，本文係以近期俄羅斯發展現代化防空系統的概貌為例，從「空對空飛彈」、「陸基防空系統」、「彈砲合一系統」等主力裝備之發展軌跡，推估俄製防空系統未來對亞洲以至全球軍備部署的影響層面，與其發展之可能趨勢。

## 貳、俄製先進空對空飛彈的影響

參酌近代各場局部戰爭歷史，以美製裝備為主的歐美國家在此之前的1/4個世紀裡享有了空前的空中優勢，這個時期來自俄製對手的基本挑戰大多數在於防空飛彈，美國和盟國的戰鬥機一般普遍存在於最小，甚至在沒有在空敵機的空戰場景中活動，從1990年代的波灣戰爭「沙漠風暴」空襲行動、北約封鎖南聯盟「南方守望」行動，再到新世紀美國對阿富汗的「反恐戰爭」，歐美軍機空襲通常如入無人之境，但是這種情況到新世紀隨著俄羅斯、中共、伊朗等國各自推出新世代防空系統，並且搭配了各種新型空對空飛彈以降起了明顯變化。



### 一、俄製空對空飛彈性能躍升

在現代基本的機載飛彈序列上，美製的視距外飛彈代表型號為AIM-120「先進中程空對空飛彈」(AMRAAM)以及第5代的AIM-9L/M/X「響尾蛇」系列近戰飛彈；俄羅斯和中共也隨之發展了多款視距內(WVR)與視距外(BVR)機載飛彈，雖然北韓尚未傳出研發了同等級的武器，但伊朗的軍用航空工業卻在此一範疇進步神速。

作為歐美國家「冷戰」以降的老對手，俄羅斯尚在「蘇聯」時代的1984年就已經發展成功了R-73(AA-11「射手」)紅外線導引飛彈，它將「視距內」的空對空飛彈技術提升了一個層級，也是第一種將空氣動力學與可變向量控制技術結合的飛彈。它有一對擾流翼採取對稱地設計附加於火箭噴口周邊，藉以達成向量推力的飛行動作，但也有傳統的空氣動力控制導流板，搭配由烏克蘭基輔兵工廠製造的Mayak-80以氮氣冷卻的鈹、銻合金尋標頭，目前已有兩款「射手」衍生型飛彈部署，它們是：R-73K採用了雷達尋標；R-73L改用雷射尋標。各自的外銷型號分別改稱為R-73E和R-73LE<sup>〔註1〕</sup>。

時至2004年，R-73繼續發展出了改良型彈種，稱為R-74M「計畫」(izdeliye)750(外銷型號為RVV-MD)，具備和R-73相同的空氣動力布局與R-73E增加的性能特長，也附帶了改良型的多項次系統，包括1具複合功能尋標頭和1具數位化處理器，與一套全新的標定(航距、方位)演算機，藉此選擇飛彈的接戰位置。它和R-73相似之處，也發展出了兩種衍生型：R-74MK雷達導引型以及R-74ML(RVV-MDL)雷射導引型。R-74M從2012年起展開測試，第一批量產型飛彈於翌年問世，仍然沿用了烏克蘭兵工製造的雙頻段「脈波-90」型尋標頭，它的視距外接戰角度達 $\pm 60^\circ$ ，比原本R-73的 $\pm 45^\circ$ 機動力更佳，然而從2014年起的烏東與克里米亞領土衝突後，烏克蘭停止對俄羅斯輸出這項裝備，俄羅斯遂交由本國的「無線電廠」(Radiozavod/Радиозавод)承接「脈波-90」的生產，但目前尚無是否已量產的消息。

另一款稱為R-74M2「計畫」760的新改良型，是從R-74M 750(外銷型號為RVV-MD)發展而成，外觀上與R-73並無二致，但它在換裝了「迦太基-760」取代「脈波-90」尋標頭之後，飛彈由本身的慣性飛行控制系統，與1套航路修

---

註1 News, "Vympel Reveals Previously Classified Air-To-Air Missile", Flight International, 1997/8/27, <https://www.flightglobal.com/news/articles/vympel-reveals-previously-classified-air-to-air-missiles-21026/>。



正資料鏈路，和1具改良的推力火箭，減低了物理定律上的雷達截面積，讓俄羅斯「阿佐夫斯基」(Azovsky)光學機械公司自製的尋標頭更能發揮近戰飛彈的性能，其外形也更適合於Su-57 (PAK-FA) 匿蹤戰鬥機武器艙的搭載容量，R-74M2也可能因此演變成一款機動性能更佳的新世代短程空對空飛彈，據俄《衛星新聞網》報導稱，俄軍方已從2016年6月起部署這件新彈種<sup>【註2】</sup>。

在R-74M2之後，俄羅斯將接續部署K-MD(「計畫」300)飛彈，意圖優於歐美各型現役空對空飛彈，例如：AIM-9X、AIM-132「先進短程空對空飛彈」(ASRAAM)與歐洲MBDA製造的IRIS-T(由歐洲戰鬥機「颱風號」搭載)，據稱這是一種全新設計的飛彈，搭配有聚焦平面陣列的影像紅外線(IIR)尋標頭，與慣性飛行控制系統以及資料鏈接收器，以便即時更新在空目標情資。此外，它的尋標頭甚至能達到R-74M2的2倍鎖定距離，還具有更高層級的抗干擾性能，由雙模式固態燃料推進火箭提供動力，新的飛彈還將採用「信號旗」(Vypel)公司研製的「三波道氣體動力控制單元」，提高彈頭的優化攔截效率<sup>【註3】</sup>。

## 二、俄製飛彈導引技術的突破

在紅外線導引技術之外，空對空飛彈沿用雷達導引技術有更長的歷史背景，可溯至1950年代，部分彈種在「冷戰」結束前甫完成研發，這為俄羅斯提供了現役飛彈的發展基礎，像是R-77(AA-12「蛇」)中程視距外飛彈，早於1980年代之初就已開始發展，約略和美國「休斯」(現為「雷神」)的AIM-120同時展開全規模研發，甚至更先於美製產品3年的驗證階段，當年它是由俄羅斯的「信號旗」和烏克蘭的「摩爾尼亞」(Molniya)設計局共同於1984年起合作飛行測試，同時交由烏方承製，直到1993年才和系統的設計責任一樣，改回到莫斯科的「信號旗」設計局主導。

一般認知的R-77彈身特徵，在於彈尾的4片格柵狀伸展型尾翼，這樣的設計動機是為了減輕飛彈重量，與減低飛彈對傳統彈翼擾流板的依賴性。R-77採用了1套組合的慣性中程導航與終端歸向技術，尤其在長距離接戰時，它的導引系統可經由無線電資料鏈路更新飛行情資，飛彈搭配的9B-1348主動尋標頭由前蘇聯時代的「阿加特」(Agat)和「伊斯托克」(Istok)兩家電子研究所

---

註2 John Pike, "Russian AAM Air to Air Missiles", Global Security, 2018/2/6, <https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/missile-aam.htm>。

註3 Dave Majumdar, "Forget the S-500 or Su-57 PAK-FA. Russia's Military Has Big Plans for the Future", The National Interests, 2018/9/19, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/forget-s-500-or-su-57-pak-fa-russias-military-has-big-plans-future-31562>。





合製，當年就已經具備了基本的飛航資料整合功能。經過十餘年之後，時值舊蘇聯崩解，俄羅斯空軍礙於經費的短絀，其國內的軍備訂單量下滑，但是這型飛彈的外銷市場卻逐漸看好，在「空對空飛彈主動出口公司 Ракета Воздух-Воздух Активная Экспортная (Raketa Vozdukh-Vozdukh Aktivnaya Eksportnaya—RVV-AE)」的型號名義下，改採用了性能更佳的9B-1348E尋標頭。到了1990年代，「信號旗」公司開始研製R-77T的構型，改以紅外線尋標頭取代原本的標準裝置，創造相對低廉成本的飛彈，這個衍生彈種的技術等級約略等同於法國「雲母」(MICA)紅外線中程導引飛彈。但從稍後歷年的俄羅斯外銷軍備市場觀察，「信號旗」公司似乎有意取消這個計畫【註4】。

### 三、俄製現役飛彈的研改成效

對於現役飛彈的研改工程，俄羅斯也是不遺餘力，曾推出R-77的「小型現代化」和「第1階段修改」等計畫，成為R-77-1(俄軍稱為「計畫170-1」)，也就是現役的部署彈種，它改裝了更流線型的彈頭錐罩，同時換裝1具9B-1348-1雷達尋標頭，搭配效率更佳的空情資料傳遞機，以及更為敏銳的情資接收機和更強的抗電子干擾性能。其他明顯的改變，為降低的飛彈彈翼擾流板，彈身長度的約略增加，彈尾改為船尾形狀，飛彈的控制軟體也大幅度更新，最大射程已可達到110公里，這個計畫雖然早在2004年時已成型，但一直到2年之後才在各項測試中逐漸顯現其成效，更要等到2010年9月才完成所有的測試工程，同年稍後展開批量生產，至今仍是俄羅斯在中程空對空飛彈的第一軍備序列品項，它的反輻射修改型也隨Su-30MK系列多功能戰鬥機的熱銷，在國際上獲得青睞，成為非美製軍備系統使用國對同級武器裝備的不二選擇【註5】。

從R-73和R-77這兩種當今最典型的俄羅斯製造空對空飛彈發展歷程推論，「信號旗」公司所研改的同系列飛彈仍會偏重於電子系統的升級，同時也會不斷增修飛彈中段導引與抗干擾的技術，在日漸複雜的聯合電子戰場環境中開闢一條可靠、有效的通路，這將是其他俄製軍備使用大國(中共、印度)現階段仍無法企及的系統整合能力，換言之，要想真正躍身成為軍備生產大國，不僅要有模擬歐美先進技術的實力，更得從設計概念的源頭發展符合自身國情需要

註4 “R-77 (AA-12) Medium-Range Air-to-Air Missile”, SinoDefence.com, 2008/10/20, Archived from the original on 2013/2/12. Retrieved 2013/1/12.

<https://web.archive.org/web/20130212114427/http://www.sinodefence.com/airforce/weapon/r77.asp>。

註5 International Institute for Strategic Studies (IISS), 2018. The Military Balance 2018 (Routledge, London : IISS) pp. 118.



的軍武裝備。

## 參、俄製S-300防空系統的影響

自從1990年「波灣戰爭」以降，環視世界各場由美、俄系統對壘的局部戰爭，美軍所面對的對手多半都以相對較為落後的俄製裝備與之抗衡，但近年，隨著防空系統的不斷更新換代，這種「冷戰」後的局面也悄然地發生了根本的變化，其中，又以俄製防空飛彈系統為象徵，新升級後的各型防空飛彈，也直接帶動了電子戰系統對抗的新局面。這些新系統的主要升級項目，包括：

1. 長程面對空防空飛彈系統。
2. 短程防空飛彈。
3. 雷達導引的防空火炮（升級版的ZSU-23公厘雙管防空快砲載具）
4. 反艦飛彈。
5. 紅外線導引飛彈。

在早年的俄製飛彈戰備序列中，以上這些飛彈與雷達軍備的各種基本情報資料，多半都能在歐美公開的資料庫與軍事工業文獻中查詢獲得，軍備分析除了根據物理定律查核這些資訊的完整性之外，其餘對俄製飛彈的基本性能諸元都尚待驗證，俄羅斯甚少關於公開諸元規格的準確性或不準確性的評述。

### 一、俄製防空飛彈系統的演進

多年以來，歐美軍備工程界所討論的「雙數位化防空飛彈系統」，亦即北約組織(NATO)對俄製防空系統所頒布的型號，是以「SA-10」作為新一代的起步。第一代的「SA-2」導引防空飛彈系統搭配「扇歌」(Fan Song)脈波雷達，到「SA-5」(北約代號：Gammon「醃豬腿」)則改以搭配「雙廣場」(Square Pair)脈波雷達，這兩款系統都是1950年代的產物，這些系統一直被前「蘇聯」延用至冷戰前半期的防空。進入1970年代後，全新概念的S-300系列獲得發展成功，增強了蘇聯對長程防空戰備的實力，廣泛地說，S-300系列所搭配的各款雷達與飛彈都已比SA-2的射程明顯增長，同時，雷達也比前一代的兩款系統大幅改良，所有新系統均增加了電子(制電磁與反干擾)防護性能，包括對目標的歸向反干擾性能、側旁瓣信號壓制和消隱等功能，以提升導引的精確度，其次也加裝了不少脈波都卜勒和脈波壓縮雷達，組合成S-300系統的基本架構<sup>【註6】</sup>。(圖1)

註6 Mark Wade, "Encyclopedia Astronautica - S-300", 2010/4/30, Retrieved 2008/9/5.  
<https://web.archive.org/web/20100430054736/http://www.astronautix.com/lvs/s300.htm>。

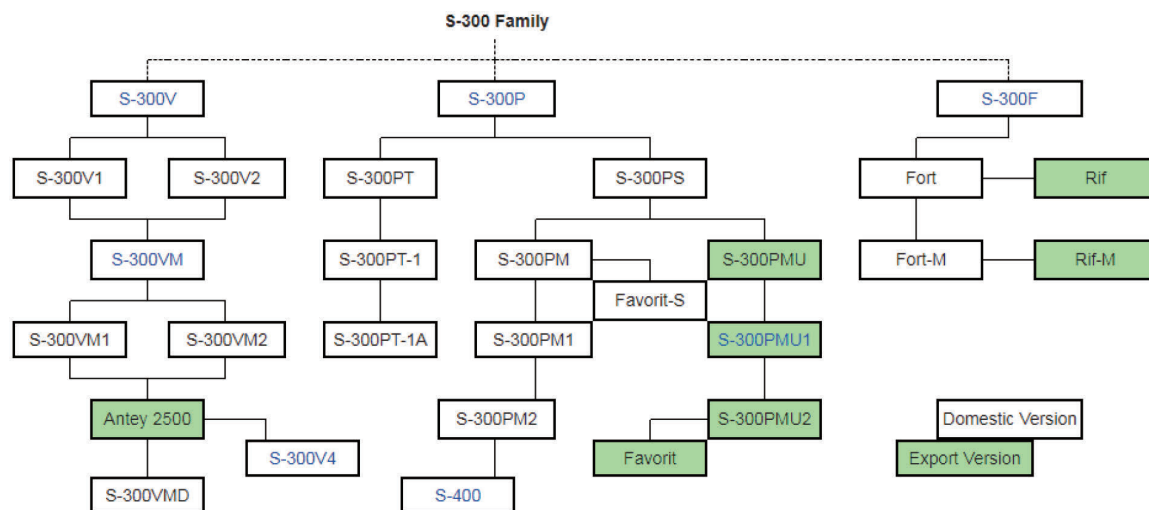


圖1 S-300防空系統系列發展架構。

資料來源：[https://en.wikipedia.org/wiki/S-300\\_missile\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/S-300_missile_system)。

至於「雙數位化防空飛彈系統」在電子戰的實作層面也產生了幾項影響：

1. 較長程的攔截使距外干擾能力也必須隨之增加。因為干擾與信號的比率(J/S)與探測範圍的平方成反比，干擾的效果也明顯減低。
2. 歸向干擾技術讓飛彈搭載的自衛干擾器幾乎自動化，可有效的攻擊反制較遠的距外干擾器。
3. 側旁瓣壓制與消隱也衝擊著距外干擾，因為這些干擾信號必須經由目標雷達

表1 S-300防空系統空情觀測雷達性能一覽

| GRAU index                     | NATO reporting name | Specialisation         | Target detection range  | Simultaneously detected targets | NATO frequency band | First used with | Notes                                                                |
|--------------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------|
| 36D6                           | TIN SHIELD          | —                      | 180–360 km (110–220 mi) | 120                             | E/F                 | S-300P          | Industrial designation: ST-68UM<br>350 kW to 1.23 MW signal strength |
| 76N6                           | CLAM SHELL          | Low altitude detection |                         |                                 | I                   | S-300P          |                                                                      |
| 76N6                           | CLAM SHELL          | Low altitude detection | 120 km (75 mi)          | 180                             | I                   | S-300PMU        | 1.4 kW FM continuous wave                                            |
| 64N6                           | BIG BIRD            | Regiment radar         | 300 km (190 mi)         | 300                             | C                   | S-300PMU-1      |                                                                      |
| 96L6E                          | CHEESE BOARD        | All altitude detection | 300 km                  | 100                             |                     | S-300PMU-1      |                                                                      |
| 9S15                           | BILL BOARD          | —                      | 250 km (160 mi)         | 250                             | S                   | S-300V          |                                                                      |
| 9S19                           | HIGH SCREEN         | Sector tracking        |                         | 16                              |                     | S-300V          |                                                                      |
| MR-75 <sup>[44]</sup>          | TOP STEER           | Naval                  | 300 km                  |                                 | D/E                 | S-300F          |                                                                      |
| MR-800 Voskhod <sup>[44]</sup> | TOP PAIR            | Naval                  | 200 km (120 mi)         |                                 | C/D/E/F             | S-300F          |                                                                      |

表2 S-300防空系統空情射控雷達性能一覽

| GRAU index | NATO reporting name | NATO frequency band | Target detection range | Simultaneously tracked targets | Simultaneously engaged targets | First used with | Notes        |
|------------|---------------------|---------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------|
| 30N6       | FLAP LID A          | I/J                 |                        | 4                              | 4                              | S-300P          |              |
| 30N6E(1)   | FLAP LID B          | H-J                 | 200 km (120 mi)        | 6                              | 6                              | S-300PMU        | Phased array |
| 30N6E2     | FLAP LID B          | I/J                 | 200 km                 | 6                              | 6                              | S-300PMU-2      |              |
| 9S32-1     | GRILL PAN           | Multi-band          | 140–150 km (87–93 mi)  | 6                              | 6                              | S-300V          |              |
| 3R41 Volna | TOP DOME            | I/J                 | 100 km (62 mi)         |                                |                                | S-300F          |              |

資料來源：[https://en.wikipedia.org/wiki/S-300\\_missile\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/S-300_missile_system)。



(信號源)的側旁瓣傳遞。

4. 各款脈波都卜勒雷達可辨析不連貫的干擾信號，也能實施機械干擾，但卻也減低了干擾器所產生的干擾與信號的比率(J/S)。
5. 脈波壓縮雷達不僅提供更佳的辨析距離，也能減低前述的干擾與信號的比率(J/S)。

承前所述，S-300系列的設計動機是要擔任多項防空任務，尤其是要攔截多種歐美的高性能戰鬥機(F-15、F-16、F-18、JAS-39、颱風號Eurofighter Typhoon、颶風號Dassault Rafale)，因此，射程外干擾器就補充了較早期防空飛彈系統之不足。而採取新技術的S-300系統是從垂直發射筒中射出飛彈，以無線電鏈路聯接各發射模組單元，也有精確的電子防護性能，以削弱對手的干擾。無線電信號的聯接，讓己方分散部署的防空射控單元能獲得反防空系統更大的生存性。模組化的發射筒也大幅縮短了重新裝彈的時間，這些對於現代化俄製防空系統採用「發射與偵察並行」的軍備設計哲學已成為共識。(表1~2)

## 二、SA-10(S-300P)的衍生發展

在已現役的S-300系列中可概分為4項基本衍生系統：SA-10(S-300P)、SA-12(S-300V)、SA-20(S-300PMU1/2)和SA-23(S-300VM)。在這些衍生型號上又各自有更新的改良款。以北約代號「嘮叨」(Grumble)的SA-10為代表，採用了「翻蓋」(Flap Lid)30N6系列(圖2)目標追蹤雷達，與「錫盾」(Tin Shield)36D6系列(圖3)空情觀測雷達，通常也還搭配了「蚌殼」(Clam Shell)76N6系列(圖4)低空探測雷達。就以SA-10C所搭配的5V55R飛彈的有效攔截距離，經過升級改良能夠達到90公里，還能接戰從25公里到30公里之內的近距離中、低空目標。30N6系列目標追蹤雷達是一款被動式相位陣列雷達，能迅速鎖定多個在空中目標，該系統還包括了「大鳥」(Big Bird)64N6系列(圖5)目標獲得(鎖定)雷達【註7】。

SA-10的運輸及發射載



圖2 「翻蓋」(Flap Lid)30N6目標追蹤雷達





具一次搭載4具密封的發射筒，將發射筒垂直豎立後以高壓氣體將飛彈彈出，亦即「冷發射」技術。飛彈射出後由追蹤雷達導引，一路向目標旋轉飛近，再行啟動火箭以避免飛彈尾焰損及發射載具。飛彈由追蹤雷達採用中程導引。當飛彈接近目標時，另以終端導引技術接手，此時，飛彈搭載的雷達所傳遞給原模組追蹤雷達的信號可被飛彈本身追蹤（簡稱TVM），飛彈再根據追蹤雷達和自身的信號的綜合資訊飛向目標。其他的多種終端導引技術也可運用，包括半主動導引和歸向雷達與干擾源等。

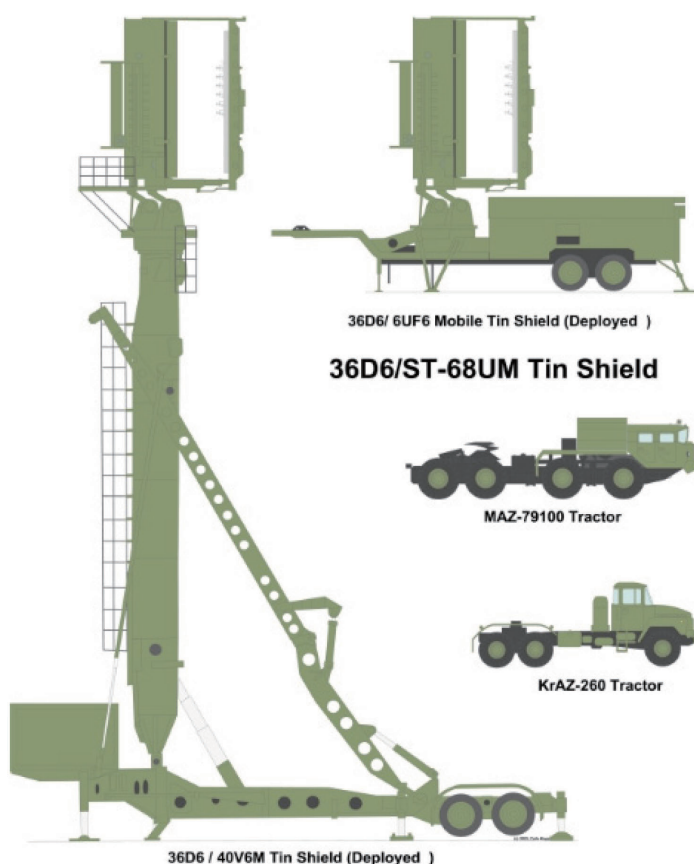


圖3 「錫盾」(Tin Shield) 36D6空情觀測雷達

其次，30N6系列目標追蹤雷達的外型採用大面積的相位陣列天線藉以追蹤多目標，它的相位天線所附帶的每一具信號發射/接收單元都能各自接收信號源，還可修改接收的信號為波束，進而由前端的相位天線重新放大相位傳遞信號，整個30N6迴旋到適合的預設發射角度，信號波束也電子驅動轉向成發射模組想要的天線掃描模式，與理想的發射角度和探測高度。此外，在30N6的角落內還裝設了4具更小的天線，這些天線能運行包括電子防護等電戰功能【註8】。

註7 Carlo Kopp, Peter Goon, "Search and Acquisition Radars (S-Band, X-band)", Technical Report APA-TR-2009-0101, Airpower Australia, 2009/1, <http://www.ausairpower.net/APA-Acquisition-GCI.html>。

註8 Army Recognition Official Media Partner, "30N6 30N6E 5N63S Flap Lid B tracking and missile guidance radar SA-10 Grumble technical data sheet", Army Recognition.com, 2010/11/28, [https://www.armyrecognition.com/russia\\_russian\\_missile\\_system\\_vehicle\\_uk/30n6\\_30n6e\\_5n63s\\_flap\\_lid\\_b\\_tracking\\_and\\_missile\\_guidance\\_radar\\_sa-10\\_grumble\\_technical\\_data\\_sheet.html](https://www.armyrecognition.com/russia_russian_missile_system_vehicle_uk/30n6_30n6e_5n63s_flap_lid_b_tracking_and_missile_guidance_radar_sa-10_grumble_technical_data_sheet.html) ; John Pike, "30NG FLAP LID A / 36N85 FLAP LID B", Global Security.org, 2011/7/11, <https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/flap-lid.htm>。



在另一款搭配SA-10的「錫盾」(Tin Shield)36D6系列空情觀測雷達功能方面，這套採用S波段(2,000~4,000 MHz)的三維雷達，主要作用在於為「翻蓋」(Flap Lid)30N6系列目標追蹤雷達提供空中目標。至於「蚌殼」(Clam Shell)76N6系列低空探測雷達本身的桅桿長達30公尺，能藉此探測到各種低空目標(包括無人機)與低雷達截面目標，辨析地面雜波，同時還具備抗機械干擾、抗金屬干擾的性能，原製造「金剛石—安泰」(Almaz Antey)公司宣稱它可在100公尺內探測到0.02平方公尺的目標【註9】。

### 三、亞洲多國採購部署

由S-300VM發展而成的S-400系統，2016年已經完成在俄羅斯遠東地區(伯力、海參崴、青年城、庫頁島)等要地的防空砲兵單位部署，對東北亞航線飛經北極航路的航班，與部署在東北亞的美、日軍機倍增壓力。

回溯2015年，傳出中共將繼俄羅斯之後，以30億美元軍購成為第一個接收S-400防空系統的外國用戶【註10】，2018年11月也已完成搭配48N6E飛彈的同系統測試，有效射程長達250公里【註11】。與中國大陸存在邊界對峙的印度將在

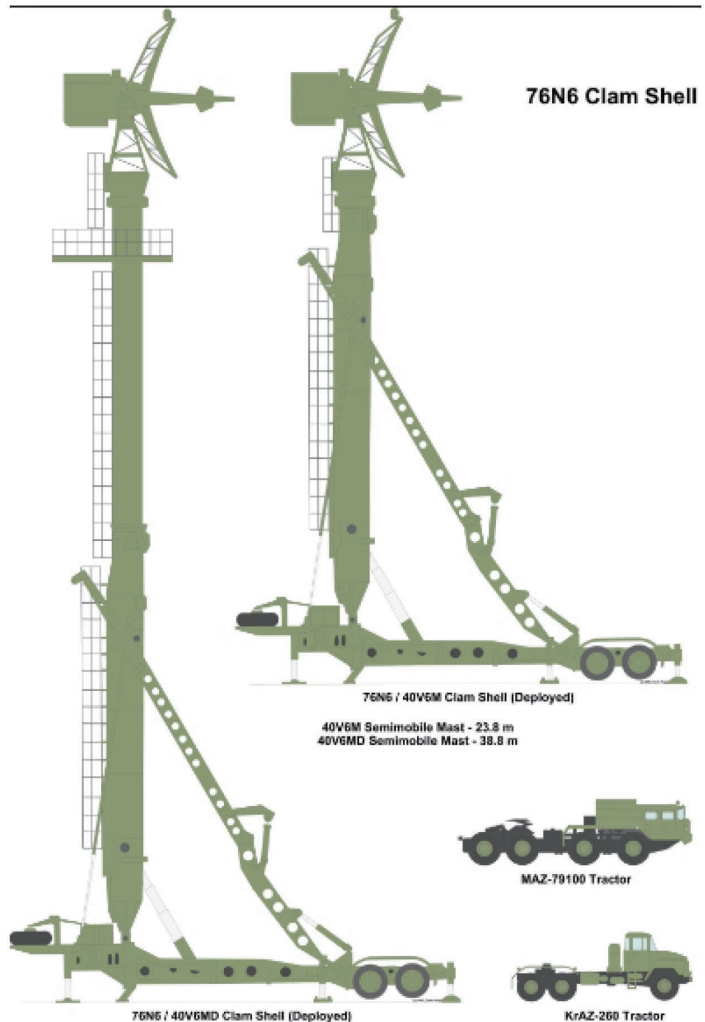


圖4 「蚌殼」(Clam Shell)76N6低空探測雷達

註9 John Pike, "36D6 TIN SHIELD", Global Security.org, 2018/4/23, <https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/tin-shield.htm>。

註10 Igor Zarembo, "China Conducts First Test of Russian S-400 Air Defence Systems - Reports", Sputnik, 2018/12/22, <https://sputniknews.com/military/201812221070923624-china-s-400-test/>。



2020年10月接收S-400<sup>【註12】</sup>，甚至越南也可能爭相購買<sup>【註13】</sup>，顯然俄羅斯有意將S-400的軍售層面影響至亞洲的地緣布局；據俄羅斯《衛星通訊社》(Sputnik)於2019年1月11日轉述土耳其《自在報》(Hurriyet)的報導揭露，美國技術代表團於同月15~16日在土耳其與土方舉行會談，並對安卡拉採購俄羅斯S-400防空系統表示「特別的擔憂」。假如俄製S-400交付給打算採購超過100架F-35A的土耳其後，會讓俄羅斯有可能間接獲得研究這些美製第5代戰鬥機，並且可擬定有針對性反制措施的機會<sup>【註14】</sup>。早在2017年12月，土耳其和俄羅斯就簽署了有關防空飛彈系統S-400的貸款協議，安卡拉當局將支付交易

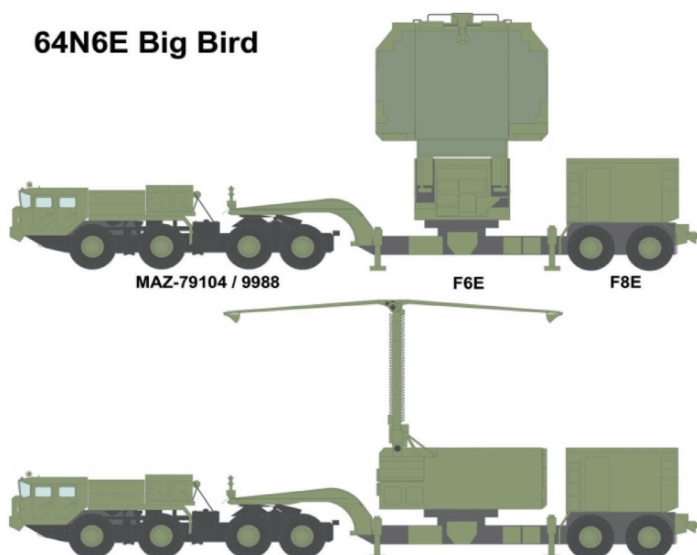


圖5 「大鳥」(Big Bird)64N6目標獲得(鎖定)雷達

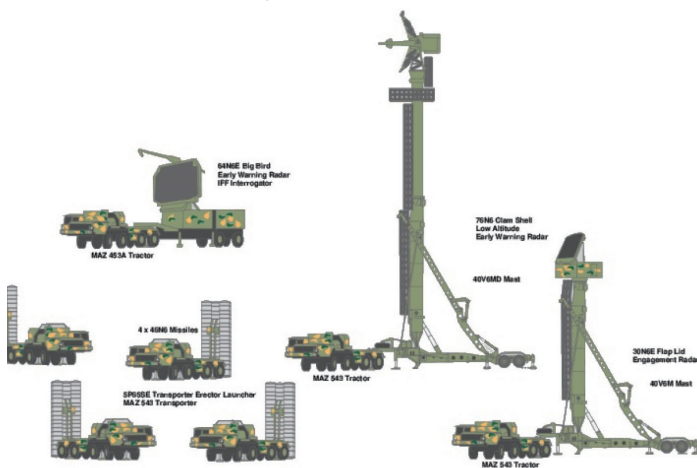


圖6 S-300PMU2半機動化防空系統系列雷達放列圖

註11 Franz-Stefan Gady, "Report: China Completes User Trials of S-400 Air Defense System", The Diplomat, 2019/1/17, <https://thediplomat.com/2019/01/report-china-completes-user-trials-of-s-400-air-defense-system/>。

註12 Franz-Stefan Gady, "India: First S-400 Air Defense System Delivery By October 2020", The Diplomat, 2019/1/3, <https://thediplomat.com/2019/01/india-first-s-400-air-defense-system-delivery-by-october-2020/>。

註13 Henry Meyer, Ilya Arkhipov, "Russia Wants to Sell Its Missiles to U.S. Allies The S-400 has never been used in combat, but it's already causing geopolitical turmoil", Bloomberg Businessweek, 2018/6/22, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-06-22/russia-wants-to-sell-its-missiles-to-u-s-allies>。

註14 D. Vinogradov, 〈媒體：土耳其回絕美國關於放棄S-400防空導彈〉《俄羅斯衛星通訊社》，2019/1/11，<http://big5.sputniknews.cn/military/201901111027330256/>。



部分金額，其餘部分由俄羅斯提供的國防貸款抵扣。俄羅斯「國家技術集團公司」(Rostec)執行長切梅佐夫(Sergey Viktorovich Chemezov, Сергей Викторович Чемезов)表示，將供應價值25億美元的4個營的S-400系統。俄羅斯主管國防與航天工業的副總理鮑里索夫(Yury Ivanovich Borisov, Юрий Иванович Борисов)表示，合約規定，在主要飛彈系統部分供應完成後，安卡拉還有加購選擇權。土耳其國防部長阿卡爾(Hulusi Akar)此前表示，S-400將於2019年10月開始供應土耳其。對此，美國國會此前表示，因安卡拉計畫購買俄羅斯S-400防空飛彈系統，所以打算暫停向土耳其供應F-35戰鬥機<sup>【註15】</sup>。甚至連巴基斯坦都可能透過中共，從俄羅斯獲得此一防空系統，這不但說明了S-300系列發展到S-400的同時，其抗干擾能力和搭配的飛彈彈種及導引精準度都已又跨了一個世代，尤其是中共在獲得Su-35SK並且部署在廣東南部之際，倘若未來再部署S-400系統，將對南中國海的「反介入/區域拒止」(A2AD)在實質的聯合作戰能力上，可將會拓展到准4代半的層級，對南海島礁的主權歸屬上，也極有可能產生決定性的影響。

## 肆、俄製彈砲合一系統的發展

自從二戰以降，防空武器系統不斷推陳出新，在飛彈攔截技術日趨精密，且大幅與雷達防情系統高度整合之同時，傳統的防空火砲仍在持續發展，各國不僅將這款基本的機械化防空武器搭配射控雷達，研製成可機動部署於戰區之內的局部防空點，也成為與野戰防空飛彈並存的近迫火力，藉之防護其他防空飛彈陣地、以及行進中的地面部隊，這種部署型態在美、俄、中、歐盟(北約)等大陸型國家的陸基化防空系統中尤其鮮明，也因此，適時地壓制這些防空火砲，也就成為現代整體電子攻防戰略概念突破對手防空系統的一項關鍵技術。

### 一、彈砲合一發展根據實戰經驗

儘管各國防空飛彈的部署數量普遍低於防空火砲，二者的射程也不在同一個比較範疇之內，但參酌二十世紀各場戰役的實際史料，可以明見防空火砲的有效獵殺率仍高於飛彈，特別是前「蘇聯」時期便已量產的ZSU-23公厘4聯裝履帶機動防空系統的實戰，改寫了近代軍備發展歷程中，防空火砲的地位與價值<sup>【註16】</sup>。這款以俄羅斯南部外貝加爾邊疆區的石勒喀河(Shilka)地名為代號的

註15 徐璐明，〈外媒：若土耳其不棄購俄S400 美將暫停供應F-35〉《環球網軍事》，2018/12/2，<http://mil.huanqiu.com/world/2018-12/13695390.html>。

註16 Bryan Perrett, 1987. Soviet Armour Since 1945 (London: Blandford Press) pp.5—15.





防空火炮，首先投入1970年代的美、越中南半島戰場，也是同時期大量外銷各國的防空武器之一，它採用水冷式砲管，最高行進速度可達到每小時30公里，每分鐘可發射高達4,000發砲彈，也能攜帶多達3,000發砲彈隨載具部署，飛入防區內的在空目標受到防空飛彈的威脅壓制，通常以降低高度作為規避的戰術動作，這款俄製防空火炮主要功能在於擊落這些低空來襲的目標【註17】。

此外，根據文獻記載，ZSU-23-4在被用於野戰防空之外，還曾擔任對抗輕量化裝甲載具的戰鬥，以今日陸地裝甲載具搭配30公厘鏈砲的標準視之，它的砲彈雖然不能擊穿重型裝甲車輛，但卻仍然能摧毀主力戰車防護較脆弱的部分。砲彈射程書面資料為3,000公尺，但真正有效射程則以2,500公尺可信。對空高度以1,500公尺超低空飛行目標，例如慢速機、直升機，甚至無人飛行載具，都是它防範的系統。它的車載型RPK-2雷達的北約代號為「砲碟」(Gun Dish)，直徑達1公尺，以3個波段頻率工作，某些資料指它以15GHz (41.2 dBi) 為觀測頻率，與1.4 3 dB頻寬，屬於北約標準化J波段的中等頻率功能，可以順利探測到20公里內的目標，一般資料咸信其觀測雷達的有效輻射電能(ERP)約在10kw(+70 dBm)，以這種數值可推估它的射程在20公里【註18】。

### 二、彈砲合一系統的發展餘度高

由於發展餘度大，ZSU-23-4在數十年來還衍生出多款構型，以因應不同地區的防空所需，其中，最典型的變化，在於它配合了俄製武器「彈砲合一」的系統整合特性，將有多功能紅外線歸向性能的單兵攜帶型防空飛彈(MANPAD)搭載之上，俄羅斯國防部火箭砲兵裝備總局(GRAU)較早期生產的某些系統，如9K310「手鑽」(SA-16，IGLA-1)或9K38「松雞」(SA-18，IGLA)，這兩款俄製的「刺針」飛彈都採用了定向能爆炸技術，搭載磁感應尋標彈頭，本來就是用於攻擊低空目標，這些相對輕量化的短程防空飛彈，本身導引構造簡單，抗干擾能力較差，在高度複雜的電子對抗戰場中盡管效果發揮不大，但轉用於輔助彈幕式防空火炮，卻成為一套創造新價值的低成本防空系統。

前文所述的SA-16其有效射程達4.5公里，對於在5.2公里以內低空飛近與後退的噴射機目標，據悉有2,500公尺的有效防範射程，對直升機和其他次音速目標則提高到3,500公尺的高度。當這些飛彈發射之後，它便根據攔截範圍

註17 畢孝斌，〈自行高炮進化史〉《中華網—科普中國—軍事科技前沿》，2018/8/30，[https://military.china.com/jsbg/11177786/20180830/33739175\\_all.html](https://military.china.com/jsbg/11177786/20180830/33739175_all.html)。

註18 Christian Koll, 2009. Soviet Cannon: A Comprehensive Study of Soviet Arms and Ammunition in Calibres 12.7mm to 57mm (Linz, Austria: Christian Koll) pp.11~35.



內以成比例的導引飛行速率，避免飛行中的高G值轉彎動作。也如同一般的歸向式飛彈一樣，追熱飛彈交叉範圍誤差隨著目標範圍的接近而遞減。由於，這款飛彈採用直接撞擊目標的攔截技術，它採用的是觸發式或放牧式接觸引信<sup>註19</sup>。

至於SA-18據記載達到5.2公里的射程，最大的獵殺高度為3.5公里，這款飛彈配備有2個紅外線探測器，其中一具為冷卻的銻化銾(InSb)尋標頭製品，主要用它來探測和獵殺目標。另外的一具為未冷卻的硫化鉛(PbS)尋標頭，用於排除對手施放的熱誘彈干擾，以避免飛彈偏離正常的飛行路徑<sup>註20</sup>。

新型「彈砲合一」車載防空系統的23公厘鏈砲射程，被包覆在前述兩款野戰防空飛彈的射程之內，只在2,500公尺上下，運用飛彈，便可將防空射程增加到3,500公尺，等於將打擊範圍延伸到現代化多功能戰鬥機的「低空層」任務高度，倘如這項裝備零散地潛伏部署在草木叢生的丘陵地帶，將能對大型都會區與一、二級城市周邊的崎嶇山區屏障達到彌補防空火網的功能，間接讓對手的多功能戰鬥機與武裝直升機試圖以超低空地貌飛行模式，滲透己方防區進行精準轟炸任務的難度提升。車載「彈砲合一」系統的另一項特質，在於它只要防空火砲的接戰面增加，搭載的飛彈也會隨之提高戰備效率，無論SA-16還是SA-18配合ZSU-23防空火砲都有這種鮮明的裝備共通特色，而且可以在不同的戰術位置上，對低空入侵目標實施砲一彈不間斷的火力攔截。

### 三、加裝敵我識別避免誤擊

目前，有部分ZSU-23防空火砲加裝了敵我識別系統(IFF)，這將可避免誤擊友軍目標<sup>註21</sup>，同時也能大幅拓展己方防空情報與火力單元，在任務防區內各個空層的部署安全性，有鑑於現代俄製野戰防空系統的實用化教範準則，從1970年代以降的歷次局部戰役中獲得修正，這將更鼓勵了俄羅斯在對外頻繁出口S-400長程防空飛彈系統的同時，也會兼顧發展這款歷久彌新的防空火砲，讓它成為熟悉於俄式裝備操作的第三世界各國，另一項相對成本低廉的防

註19 "Gibka 3M-47 naval turret mount, air defense missile system (Also known as 3M47 Ghibka, 9K310, 9M310, 9M313, Igla-1, Igla-M, SA-16, SA-N-10 Gimlet)", Navy Recognition.com, 2012/7/26, [http://www.navyrecognition.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=529](http://www.navyrecognition.com/index.php?option=com_content&view=article&id=529)。

註20 "SA-18 Igla 9K38 man-portable air defence missile system", Army Recognition.com, 2011/12/18, [http://www.armyrecognition.com/russia\\_russian\\_army\\_light\\_heavy\\_weapons\\_uk/sa-18\\_grouse\\_9k38\\_igla\\_man-portable\\_missile\\_technical\\_data\\_sheet\\_specifications\\_description\\_pictures.html](http://www.armyrecognition.com/russia_russian_army_light_heavy_weapons_uk/sa-18_grouse_9k38_igla_man-portable_missile_technical_data_sheet_specifications_description_pictures.html)。

註21 Anton Mikhnenko, "NEW CAPABILITIES FOR THE ZSU-23-4 SHILKA", Defense Express, 2017/12/22, <https://defence-ua.com/index.php/en/publications/defense-express-publications/3904-new-capabilities-for-the-zsu-23-4-shilka>。



空系統選擇。

外傳，俄羅斯也已從1982年起在現有的防空火砲裝備基礎上，再進一步發展北約代號為「鼬鼬」(SA-19，9K22「通古斯加」自走防空高射砲)<sup>【註22】</sup>與「灰狗」(SA-22，Pantsir S1「鎧甲」S1「彈砲合一」單車行進間獨立作戰的防空武器)<sup>【註23】</sup>這兩款野戰防空「彈砲合一」系統，以它們取代前述的兩款基本型紅外線導引短程飛彈，白俄羅斯、印度、摩洛哥、烏克蘭等國都已採購了這款防空火砲<sup>【註24】</sup>，換言之，這些處在新世紀大國地緣博弈邊陲地帶的新興國家，其國境與國界都屬於地貌複雜的山岳與丘陵特質，在獲得這些防空火砲與飛彈合一系統之後，使用相位陣列射控雷達的目標鎖定與追瞄技術，讓飛彈和防空高射砲兩種武裝完全整合在一具雷達射控上，配屬戰車團、機械化步兵團的操演協同行進間防空能力，資料射程能達到30公里和15,000公尺以下的在空中目標，防空雷達有效探測半徑達5公里。屬於俄式軍團級防空砲兵以下的野戰防空營級裝備，值得注意的是，近年來中共為防範低空目標，除藉劃定「東海防空識別區」試圖將防空範圍延伸之外，在東南部與南部等丘陵地帶也可能仿效俄羅斯準則，將其自製之近程防空飛彈搭配低空防空快砲的模式，彌補長程防空飛彈的火力空缺帶，從俄羅斯的「彈砲合一」系統發展歷程中，建立其自製的相同等級裝備，在我方強化聯合立體作戰之同時，尤其需要防範其類似裝備之發展。

### 伍、結語—俄軍備戰略涵義

展望世界先進軍事科技，正在加速向資訊化和智能化的複合式發展趨勢，呈現出全方位、深層次發展的態勢和多面向的突破、深度融合、廣泛深入的特質，這種軍備發展的趨勢對國家軍事實力、綜合國力以及國家安全和戰略主動權等均產生重要影響。俄羅斯從新世紀起極力振興國力，企圖由目前的「地區強權」恢復至昔日的「全球霸權」地位，其最重要的憑藉，仍在於得力承襲自舊「蘇聯」時代的軍事工業基礎，透過持續的軍備外銷與發展自身的現代化軍事裝備，達到與美國相抗衡的目的。

註22 “Tunguska-M1 Air Defense Missile/Gun System”，KBP Instrument Design Bureau website, <https://web.archive.org/web/20120615011921/http://kbptula.ru/eng/zencom/tung.htm>。

註23 “PANTSIR-S1 Air Defense Missile-Gun System”，KBP Instrument Design Bureau website, <http://www.kbptula.ru/en/productions/air-defense-weapon-systems/pantsir-s1>。

註24 “Pantsir missile system”，Wikipedia, 2019/2/3, [https://en.wikipedia.org/wiki/Pantsir\\_missile\\_system#Operators](https://en.wikipedia.org/wiki/Pantsir_missile_system#Operators)。





## 一、戰略核武為國際威懾

俄羅斯國防部日前連續發布消息，聲稱俄軍已研製成功多款戰略飛彈，這些新式飛彈分別是已量產的「匕首」(Kinzhal)、「先鋒」(Avangard)兩款高超音速飛彈<sup>【註25】</sup>，與正在進行飛行試驗的陸基「薩爾馬特」(Sarmat)重型洲際彈道飛彈<sup>【註26】</sup>，以及核動力「海燕」(Burevestnik)巡航飛彈<sup>【註27】</sup>。這些飛彈都有個共同特點，即美國和北約無法以現有的反彈道飛彈系統加以攔截，俄軍發射後將穿越所有防空系統，如入無人之境。這幾款新式的戰略飛彈由普欽於2018年3月發表「國情咨文」時已提到，普欽當時指出有80枚新洲際彈道飛彈、102枚潛射彈道飛彈已服役，他並展示了附帶滑翔翼彈頭的「先鋒高超音速飛彈」試驗畫面，以及核動力的「海燕」巡航飛彈的發射和「薩爾馬特」洲際飛彈綜合體畫面。俄國《衛星通訊社》報導說，這些新型武器放在一起可以對抗所有的反導系統，它們試驗都獲致成果，部份已陸續成軍<sup>【註28】</sup>。儘管戰略性質的長程彈道飛彈與國土防空性質的防空飛彈系統技術層面存在落差，但二者仍相輔相成，而且在全球強國外交遂行「新干涉主義」浪潮之際，防空飛彈系統的外銷，對俄羅斯在世界滲透利益的助益更甚於戰略核武。

## 二、俄軍備外交10的演變

回溯2009年時，美、俄可能就削減進攻性戰略武器、在東歐部署反導系統等問題展開談判，並且不排除取得進展的可能性。雙方還就國際反恐、反海盜、解決阿富汗問題、以巴衝突等國際熱點問題加強磋商與合作。固然美、俄之間存在諸多戰略矛盾，但有些問題是長期和根本性的歧異，例如對國際事務的主導權、北約的地位和作用之爭等，這些問題必然會對美、俄關係的根本改善形成制約。此外，2009年時俄羅斯是「上合組織」輪值主席國，它準備是年夏天在葉卡捷琳堡市主辦上合組織峰會，在此期間還將舉辦首次金磚四國元首會議。俄羅斯當年想藉召開兩會提升這兩個組織的國際地位，同時以此推動國際秩序改革步伐，凸顯俄羅斯對建立更加公正、合理的國際政治、經濟和安全新秩序的影響力等外交策略。

註25 俄羅斯衛星通訊社，〈俄國防部：俄開始量產“先鋒”高超音速導彈〉《Sputnik》，2018/7/19，<http://sputniknews.cn/russia/201807191025921261/>。

註26 俄羅斯衛星通訊社，〈俄戰略火箭軍：正在準備“薩爾馬特”導彈的飛行試驗〉《Sputnik》，2018/7/19，<http://sputniknews.cn/russia/201807191025921026/>。

註27 俄羅斯衛星通訊社，〈俄國防部：帶核動力發動機的巡航導彈“海燕”對所有反導系統都是難以攔截的〉《Sputnik》，2018/7/19，<http://sputniknews.cn/military/201807191025922078/>。

註28 盧伯華，〈俄宣布4款新型戰略導彈 防空系統無法攔截〉《中時電子報》，2018/7/19，<https://www.china-times.com/realtimenews/20180719004501-260417>。



時至2019年2月1日，美國總統川普宣佈美國將暫停履行《中程飛彈條約》(Intermediate-Range Nuclear Forces)<sup>【註29】</sup>，並於隔日正式退出此條約。根據川普的聲明，美國發現俄羅斯長期違反《中程飛彈條約》，祕密開發並部署對美國及盟友構成直接威脅的飛彈系統，更未遭到任何制裁，對此，美國已退出條約表達抗議。俄羅斯《衛星通訊社》(Sputnik News Agency & Radio)1日報導，針對川普宣布美國退出《中程飛彈條約》，克里姆林宮(Kremlin)發言人佩斯科夫(Dmitry Sergeyevich Peskov)表示，美俄對《中程飛彈條約》的歧見迫使俄羅斯為保障自身安全採取相關措施<sup>【註30】</sup>。俄政界人士聲稱，這是川普要推動世界重回上個世紀「冷戰」時期的節奏。然而川普的這一步，實際上可能是「一箭雙雕」，目的在於約束中共的軍事力量，尤其是同等級的DF-26彈道飛彈發展，以減低中共對亞太地區美國利益的威脅。

### 三、美—俄—中「新三角」勢力平衡

日前，中國大陸「觀察者」網站在一篇評論中指出，《中程飛彈條約》加上此前1972年簽署的《反飛彈條約》，構成了維持美俄核平衡的條約體系。2001年12月13日，美國總統布希向俄羅斯發出通知，宣布美國退出《反飛彈條約》。如果川普按布希當年先例，通知俄方退出《中程飛彈條約》，那就意味著美俄兩國的中程飛彈發展的主要法理限制就此宣告失效。從近10年的國際局勢演便可以約略窺見俄羅斯由軍備輸出至部署與美國對抗的悄然形成，雖尚不致於恢復至昔日「冷戰」的全面對抗，但美—俄—中這個「新三角」的強權勢力平衡彷彿已成定局，俄羅斯也可能在戰術性軍備向中共輸出的同時，另一面運用中共崛起的態勢，與美國展開新的外交較量，推論其目的也有牽制中共向世界發展的潛在涵義。

---

註29 《中程飛彈條約》(Treaty between the U.S.S.R. and the U.S.A. on the Elimination of Their Intermediate-range and Shorter-range Missiles)是指冷戰期間，美國與蘇聯之間簽訂的各自銷毀中程飛彈的條約，經歷了漫長、艱難的談判過程，直接限制了美國和蘇聯在全球範圍部署有核打擊能力的中程和短程飛彈的能力。

條約共十七條，規定雙方須全部銷毀射程介於500至1000公里的短程飛彈，以及射程介於1000至5500公里的中程飛彈，包括搭載常規與核子彈頭的飛彈、飛彈的陸基發射器。規定美蘇雙方不得再生產、試驗中程飛彈和短程飛彈。雙方都擁有實地查核的權利。該條約的簽署，被部分觀察人士視為戰後美、蘇裁軍談判歷史上達成的第一個真正減少核武器數量的條約。它是美、蘇在內政和外交上各有所需和相互妥協的產物。

Department of States, "Treaty Between The United States Of America And The Union Of Soviet Socialist Republics On The Elimination Of Their Intermediate-Range And Shorter-Range Missiles (INF Treaty)", 1987/12/8, <https://www.state.gov/t/avc/trty/102360.htm>。

註30 國際中心，〈美國正式退出《中程飛彈條約》 俄羅斯：被迫自行尋求安全保障〉《上報》，2019/2/2，[https://www.upmedia.mg/news\\_info.php?SerialNo=57130](https://www.upmedia.mg/news_info.php?SerialNo=57130)。



## 註 釋

(註1)波斯灣戰爭(英文:Gulf War)是指1990年8月2日至1991年2月28日期間,以美國為首的由34個國家組成的聯軍和伊拉克之間發生的一場局部戰爭,一般媒體通稱沙漠風暴。1990年8月2日,伊拉克軍隊入侵科威特,推翻科威特政府,並宣布科威特的「回歸」以及大伊拉克的「統一」。以美國為首的多國部隊在取得聯合國授權後,於1991年1月17日開始對科威特和伊拉克境內的伊拉克軍隊發動軍事進攻,主要戰鬥包括歷時42天的空襲、在伊拉克、科威特和沙烏地阿拉伯邊境地帶展開的歷時100小時的陸戰。多國部隊以輕微的代價取得決定性勝利,重創伊拉克軍隊。伊拉克最終接受聯合國安理會第660號決議,並從科威特撤軍。

這次戰爭是美軍自越南戰爭後主導參加的第一場大規模局部戰爭,也是第一場聯合國會員國之間的戰爭。在戰爭中,美軍首次將大量高科技武器投入實戰,展示了壓倒性的制空、制電磁優勢。通過波斯灣戰爭,美國進一步加強了與波斯灣地區國家的軍事、政治合作,儘管強化了美軍在該地區的軍事存在,卻未能同時剷除海珊政權,為2003年的伊拉克戰爭埋下了伏筆。

(註2)1991年四月聯合國安理會通過了688號決議,要求伊拉克領導人薩達姆·海珊結束壓迫伊拉克人民。但是在1991年和1992年的備忘錄中提到,伊拉克繼續在對伊拉克南部的什葉派穆斯林進行軍事壓迫,海珊根本就沒有選擇遵守聯合國決議。

1992年8月26日,美國總統老布希宣布聯合國軍隊將開始在北緯32度線以南執行禁飛任務。此行動的目的是保證伊拉克執行聯合國668號決議。為了協助監督行動,聯軍禁止伊拉克任何固定翼和旋轉翼飛機飛過禁飛區。在總統的聲明後,美軍中央司令部立刻建立了西南亞聯合打擊力量指揮部,它的任務是指揮聯軍對禁飛區監視行動,行動代號「南方守望」,1992年8月27日,在總統聲明後不到24小時,軍事行動正式展開。

(註3)反恐戰爭(英文:War on Terror)是美國及其盟友用來稱呼一場進行中的、以「消滅國際恐怖主義」為目標的全球性戰爭,起因於九一一事件。

反恐戰爭的現階段目標包括:阻止那些被美國認為恐怖組織的團體(其中大部分是像蓋達組織、塔利班等伊斯蘭極端軍事組織)對美國及其盟國發動恐怖襲擊;為傳播「自由與民主」且終結那些支持恐怖主義的流氓國家與失敗國家」的現有政權。反恐戰爭中的首次軍事行動是北大西洋公約組織在2003年10月進行的代號「積極奮進」的海軍演習,旨在阻止恐怖分子獲得大規模殺傷性武器;此外另一個標誌是推翻為奧薩瑪·賓·拉登提供庇護的塔利班所進行的阿富汗戰爭。

反恐戰爭是由美國、加拿大、澳大利亞、英國、歐盟(包括法國、德國及義大利)及其他盟國的支持下發動的。反恐戰爭包括多種手段,如外交手段、經濟制裁、加強國土安全及與其他國家開展安全合作等。

## 參考資料

- 1.Edward John Emering, 2005. The Decorations and Medals of the Persian Gulf War (1990 to 1991)(San Ramon, CA: Orders and Medals Society of America).
- 2.Michael Knights, 2005. Cradle of conflict: Iraq and the birth of modern U.S. military power(Annapolis, Maryland: Naval Institute Press).
- 3.Richard Jackson, 2005. Writing the war on terrorism Language, politics and counter-terrorism(Manchester, England: Manchester University Press).

## 作者簡介

軍事學碩士 耿志雲

學歷:國防大學復興崗政治研究所中共解放軍研究組軍事學碩士,現職:國際電子戰協會會員,空軍學術雙月刊、中華民國的空軍月刊作者。