



軍事戰略

中共空軍「蘇霍伊」系列 機隊機載雷達性能探源

聘雇教官 魏光志
碩士研究生 耿志雲

提

要

Su-30MKK的成軍已讓中共空軍達到接近與美國空軍F-15E的等同戰
力，至少不亞於遠東地區內第4代戰鬥機，如：F-16C/D Blk 50以下的
對手。它能攜帶大批俄製系列空用武器，足以對地面和海面的目標進行
長程精確攻擊，至於空對空作戰方面，Su-30MKK的購案也讓中共空軍首
次接收了像R-77E這樣的主動雷達歸向空對空飛彈，當然中共其他的Su-
27SK「側衛」系列戰鬥機隊也同樣能搭載這型飛彈。

中共空軍至少已因飛行訓練事故折損3架Su-30MKK戰轟機，但皆歸
因於訓練課目過繁和飛行員對新裝備的不熟悉所致。目前，中共已常態
使用Su-30MKK機隊進行各項演習，空軍航空兵和海航各部亦積極訓練飛
行員以期獲得更多的飛行經驗。

本文旨在針對「蘇霍伊」(Sukhoi)系列戰鬥機的雷達空電性能發展
脈絡，藉之以探討中共空軍對既有之同型機隊的電戰與射控裝備所可能
採取的改良趨勢。

關鍵字：AESA主動電子掃描相列、機載雷達、L波段、X波段。

壹、Su-27PU攔截／管制機發展起源

關於Su-27/Su-30「側衛」系列的發展起源，須回溯至1969年間，當時的蘇聯



政權有鑒於美國空軍製造F-15「鷹式」戰鬥機的「F-X」計畫可能將在戰鬥機技術上優於現役的蘇聯戰鬥機，蘇共咸認需要一款運動性能和操縱系統都要更佳的新機型才能維持兩強之間空權的平衡。為回應蘇聯總參謀部的要求，當局遂以「單一功能前線戰鬥機」(Perspektivnyy Frontovoy Istrebitel-PFI)或簡稱為「先進前線戰鬥機」展開研發計畫，同時也明確要求新機必須具備長航程、良好短場起降(包括能在簡易的公路上起降)、極佳的空戰運動性能、2倍音速飛行性能、能攜帶重武裝等特性，該機的空氣動力設計由蘇霍伊設計局的「中央空氣動力研究所」(Центральный аэрогидродинамический институт(ЦАГИ)英文譯為(Tsentralniy Aerogidrodinamicheskii Institut)負責完成。

量產型的Su-27(其型號也稱為Su-27S，北約組織代號「側衛-B」於1984年開始撥入作戰部隊，由於製造上的困難讓它直到兩年後的1986年才現身，Su-27起初撥交給「本土防空軍」和「前線航空部隊」使用。在「本土防空軍」擔任攔截機的功能，藉以補強當時戰備序列中的Su-15和Tu-28這兩型攔截機。儘管Su-27機身與翼下也有足夠的武掛位置可攜帶空對地武器；在「前線航空部隊」將它用於空中阻絕任務，以對付北約組織的加油機和空中預警系統，蘇聯設計師明白北約部隊是藉著以上二種途徑以強化實力，同時也深信必須攻擊這兩種飛機，才能限制北約擴張空戰的實力。Su-27仍可具備「戰情指揮機」的功能，稍後量產化時還加裝了「三角旗」公司的R-73反輻射飛彈，和射程長達300~400公里的Novator K-100型反輻射空對空飛彈。^{【註1】}從1986年起，Su-27特別由T-10S-3原型機重製，改其型號為P-42，同時儘可能地輕量化，自此開始締造了一系列爬升和高度的性能紀錄，於1986~1988年間寫下27項世界紀錄。

Su-27的基本型雖然作戰航程足夠，但未迎合蘇聯本土防空軍(俄文稱PV0 or Protivo-Vozdushnaya Oborona)任務之所需，對於滿足蘇聯幅員廣闊全境之空防顯得力有未逮，當局遂於1986年展開新衍生型Su-27PU的強化工程，Su-27PU不僅能擔任長航程防空作戰，還能充當空中指揮所。以雙座型的Su-27UB戰鬥教練機作為Su-27PU的載台是基於它具備單座型的飛行性能，在長航程任務時也需要兩名機組員的考量。第一架Su-27PU「概念驗證機」於1987年6月6日試飛，開啟了兩架Su-27PU原型機的成功之始，第一架Su-27PU於1989年12月31日在中部西伯利亞平原上的伊爾

註1 Chinese Dimensions of the 2005 Moscow Aerospace Show, International Assessment and Strategy Center, http://www.strategycenter.net/research/pubID.78/pub_detail.asp, Fisher, Richard, retrieved 2009/1/29

註2 Su-30/27PU long-range interceptor, Combat Ace Forum, 段1, 行5~6 http://combatace.com/topic/37289-su-30su-27pu/page__p__252574&

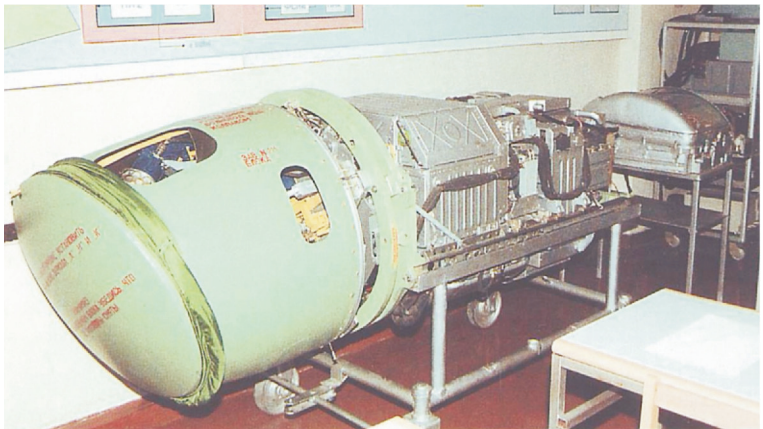


庫茨克(Irkutsk)試飛，後續3架先導生產型於1992年4月14日也完成試飛。【註2】《圖1》

在1980年代，N001型雷達是第一種裝配在量產型「側衛」戰鬥機上的射控系統，《圖2》它最初的目的以超越美製F-15戰鬥機的APG-63型雷達，所以採用了一具平面相位天線，由於性能不盡理想，因此未幾，當局就進行重新的設計，選用了MiG-29戰鬥機的N019型多模式雷達的部份零組件，天線的安排為更傳統的1.1公尺直徑彎曲反射型，但仍保留了大型的機鼻錐罩空間以供天線動作。至1990年代之前期，俄羅斯空軍即以N011型雷達取代N001型雷達裝配在改良型的Su-27M上《圖3》，同時也隨Su-27SK外銷給中共和越南的空軍。



圖1 中共空軍「殲11」、Su-27/30系列機載雷達必然將循俄羅斯模式分批換裝AESA雷達，圖為駐遼寧鞍山第1團的Su-27UB雙座機。(圖片來源：美國國防部資料網站)



《圖2》Su-27系列使用的提克赫米洛夫研究院Tikhomirov NIIP-N001系列雷達。

(資料來源<http://www.ausairpower.net/APA-Flanker-Radars.html>)

第1批48架Su-27型包括36架由阿穆爾共青城廠生產的Su-27SK單座型機和12架由伊爾庫茨克廠生產的Su-27UB雙座型機總計在1億7千萬美元。【註3】

當然，N001雷達也有一系列的性能提升以增加其額外的模式，例如N001V和N001VE就有改良的數位處理器，與俄製的巴格特(Baguette)BCVM-486-6型處理器，可操作導引R-77型RVV-AE「奎蛇」視距外空對空飛彈，以及能支援多功能作戰的

註3 J-11 (Jianjiji-11), Su-27SK Purchases, 段1, 行3~5 <http://www.globalsecurity.org/military/world/china/j-11.htm>



空對面模式，可投射一系列空對面和反艦飛彈，所以N001VE型和VEP型雷達的屬性並不像F-15C的APG-63和F-15E的APG-70，它們不似美製機載雷達，是屬於不同的兩代產品。【註4】

Su-27UB機體為因應新任務，也在機鼻左側加裝了可收入式的空中加油接口以便增加航程，半球狀的紅外線標定裝置位於機鼻右側。

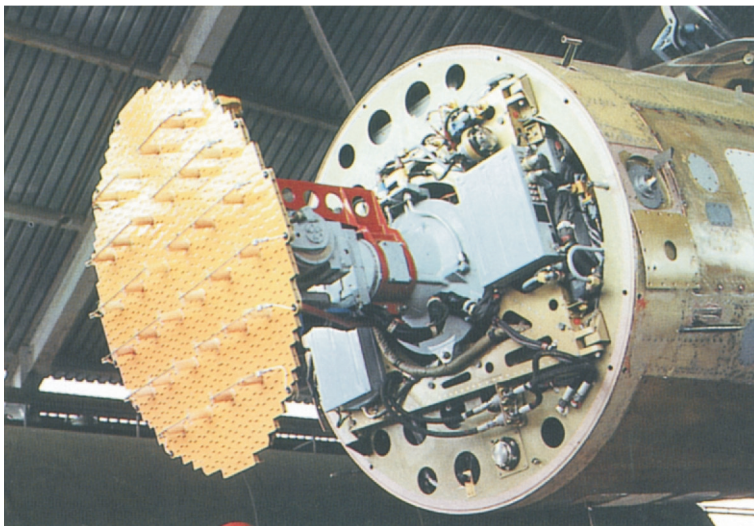


圖3 NIIP-N011雷達的平面陣列天線。

其航電也做了修改，換裝上（資料來源<http://www.ausairpower.net/APA-Flanker-Radars.html>）

揮單座型Su-27攔截機的編隊。後座座艙還換裝了一具大型多功能顯示幕，使之能向空中領隊顯示戰術情資，導航和線傳飛控系統亦提升。同時也換裝更新的NIIP N001VEP雷達，具備俯視／俯射的性能，以執行更為敏捷的對地攻擊，和同時追蹤接戰多個空中目標的能力。【註5】

蘇霍伊公司將Su-27PU設計成一架「戰鬥指揮管制機」，換言之是一架迷你的「空中早警系統」，後座機組員擔任機載雷達和資料鏈路的操作以管制其他在空戰鬥機隊，然而，蘇聯本土防空軍(PV0)並不打算購買Su-27PU，全部5架Su-27PU遂重新改為Su-30的型號後才撥交予PV0充當訓練任務之用【註6】，自1996年起配屬駐防歐俄沙佛斯托列卡(Savostleyka)的第54攔截飛行團。當時至少有1架Su-30MK雙座機衍生型供予俄羅斯空軍使用，至1990年代中期再撥交了幾架供測評之用。【註7】

蘇霍伊公司將Su-30MK設定為外銷機型，所謂「MK」俄文原意指「現代化產品」(Modernizirovannyi Kommercheskiy)，於1993年的「巴黎航空展」中首先向西方國家亮相，至於性能更佳的Su-30MK展示機是根據第一批Su-27PU重新製造而成，旋

註4 Flanker Radars in Beyond Visual Range Air Combat, Part 2 Flanker Radars in Detail, Tikhomirov NIIP N001 / N001VE / N001VEP, Carlo Kopp段2~4 <http://www.ausairpower.net/APA-Flanker-Radars.html>

註5 Sukhoi Su-30, 段3, 行6~7 <http://www.aviastar.org/air/russia/su-30.php>

註6 Sukhoi Su-30, Development, Su-27PU long-range interceptor, 段3, 行3~4 http://en.wikipedia.org/wiki/Sukhoi_Su-30

註7 Sukhoi Su-30, Development, Su-27PU long-range interceptor, 段5, 行1~2 http://en.wikipedia.org/wiki/Sukhoi_Su-30



於1994年再公開展示。

Su-30MK可搭載N001VE型或「潘佐頓」N010「甲蟲」(Zhuk)-27型《圖4》射控雷達，或改載一具N011M「雪豹」(Bars)脈波都卜勒電子掃描相位陣列雷達《圖5》，可探測和追蹤15個在空中目標，且能攻擊其中4個主要目標。N011M「雪豹」雷達增加了20公尺(65.6英尺)的空情解析度，確保可對海面船艦大型目標的探測距離長達400公里(248.5哩)，對較小的目標也有150公里(93哩)的探測距離，還可以在地貌飛行時同時以雷達波束追蹤沿空中和地面的目標。

【註8】

根據蘇霍伊設計局指出，多數現行航電的提升都是為迎合中國的需求，其次才是用於「側衛」系列的其他機種，包括稍後出廠的更先進系統，這主要是讓Su-30MKK在價格上能和其他機種一樣具有競爭性。Su-30MKK的最初合約廠商和系統整合廠商，為總部設在莫斯科東南方約46公里處的拉緬斯科耶(Ramenskoye)RPKB儀器設計局，多項新裝置也

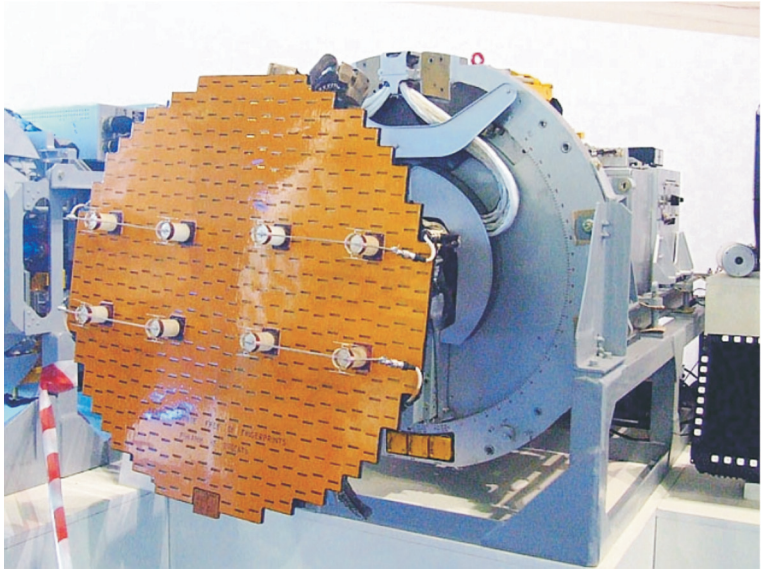


圖4 潘佐頓「甲蟲」(Zhuk)-ME-MSA雷達於2007莫斯科航展MAKS中公佈。

(資料來源<http://www.ausairpower.net/APA-Flanker-Radars.html>)

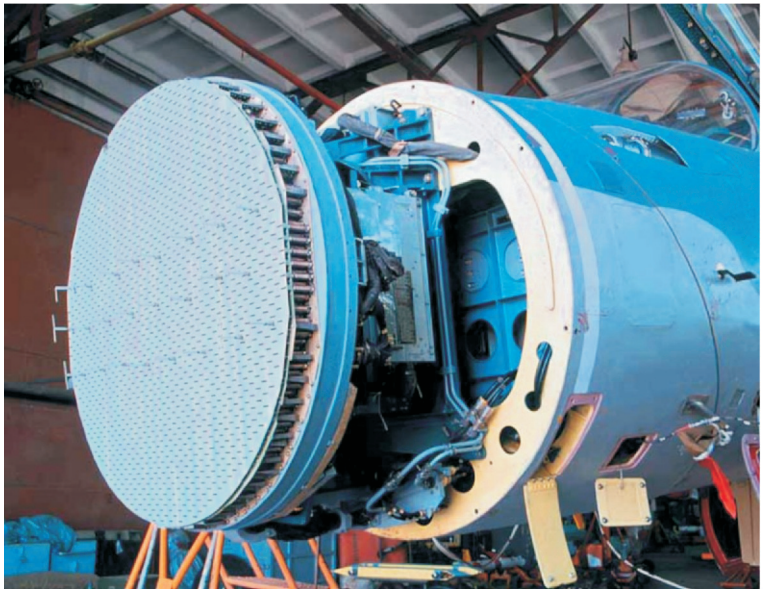


圖5 Su-30MKI-搭載的N011M「雪豹」BARS電子陣列雷達。

(資料來源<http://www.ausairpower.net/APA-Flanker-Radars.html>)

註8 Indian MKIs and Chinese MKKs, electronic aviation, 段10, 行1~3 http://www.electronicaviation.com/aircraft/Su-27_Flanker/1183



是配合中國的需要，例如開放式架構的軟體設計。【註9】1架標準型的Su-30K估計約3,400萬美元，至於1架標準型的中共空軍Su-30MKK估計約在5,300萬美元。【註10】

蘇霍伊公司「側衛式」系列的新衍生構型，值此確定為專為中共人民解放軍空軍需要所特製，型號為Su-30MKK，中共特別要求提升原來Su-30MK的多項性能，蘇霍伊公司也因應中共予以「電腦輔助設計」Computer-aided design(CAD)、「電腦輔助工程」Computer-aided engineering(CAE)和「電腦輔助製造」Computer-aided manufacturing(CAM)等多項新技術的修改，以加快新機構型成品的設計和製造，僅耗時九個月便完成第一架原型機「藍色501號」的生產；2003年1月，中共海軍航空兵續訂了24架Su-30MKK2，這批戰鬥機又是MKK型的再改良型。

貳、Su-30MKK/MK2戰鬥轟炸機改良

中共的Su-30MKK(北約組織代號稱之為「側衛G」)機隊無疑地將會取代部份陳舊的「轟六」機隊執行對地打擊或對艦任務，它比舊「轟六」機隊可攜帶更多樣的精準空用飛彈。

此外，中共也自行開發了兩種先進的戰鬥轟炸機，例如改良自西安「殲轟七」(飛豹)的「殲轟七A」，同時也已撥交予空軍航空兵和海航部隊，它比Su-30MKK為優的條件之一在於相對低廉的量產價格和維持費，武器選擇更具彈性，然而缺點之一在於它的空戰性能遠遠不如Su-30MKK，在武器酬載量上也不如Su-30MKK，讓作戰的機載武器和燃料都受到限制。

第二種中共設計自產的戰鬥機為「殲十一B」，它從瀋陽「殲十一」重新設計、提升而成，與俄製的Su-27SK不盡相同，但中共已將「殲十一」換裝自製的新型航電，使之具有高運動性和空戰能力，也具有重武裝酬載能力和先進雷達，「殲十一B」和「殲轟七A」僅可能攜帶中共自製的系列空用武器。【註11】《附註一》中共空軍未來勢必將整合「殲十一」系列N011M雷達的射控系統軟體至Su-27SMK的水準，讓它們也都能攜帶俄羅斯製的長程輻射飛彈和反艦飛彈。

中俄雙方是於1996年間展開Su-30MKK多功能戰鬥機的採購協商，當時該機已完成最後的發展階段。中共繼之在1999年8月向俄羅斯採購了第一批38架，總值約20億美元，第1架原型機代號被稱為「藍色501號」，於同年3月9日完成試飛。

註9 Sukhoi Su-30MKK, Design, Avionics, 行3~4 http://en.wikipedia.org/wiki/Sukhoi_Su-30MKK#Electronic_warfare_systems

註10 Sukhoi Su-30, Design, Unit Cost, 行1~2 http://en.wikipedia.org/wiki/Sukhoi_Su-30

註11 Shenyang J-11, 段2, 行6~8 http://en.wikipedia.org/wiki/Shenyang_J-11#J-11B



第2架原型機「藍色502號」稍後也在同年的6月19日完成試飛，但跟第1架原型機一樣，這一架的主要功能也只作為氣動力實驗機。至於第3和第4號原型機也都在同年完成生產，依序被稱為「藍色503號」和「藍色504號」，專用於武器測試的載台。^{【註12】}專供Su-30MKK的航電發展也由12家位於基輔市的烏克蘭廠商所支持。

在未來的資訊化戰場上，唯有綜合電子戰系統才能對抗陸、海、空、天一體化的「聯合作戰」攻防體系。綜合電子戰系統是中共解放軍今後電子戰發展的主要方向，加緊開發能夠滿足未來戰爭需要的陸、海、空、天綜合一體化的「聯合作戰」攻防系統，在對現有的先進電子戰能力進行強化和加強的基礎上，繼續提高電子戰武器的作戰效能^{【註13】}，明顯地即為中共空軍發展機載電子設備的趨勢。

參、Su-30MKK通信系統與電戰系統

Su-30MKK的譯碼型VHF超高頻/UHF極高頻通信無線電工作距離最遠達400公里，它的HF高頻無線電工作距離甚至長達1,500公里，而且這兩種通信頻道皆可用於「空對空」或「空對地」的通信功能。此外，Su-30MKK也是「側衛」系列中第一種裝配了TKS-2 C3系統，這種系統能同時對15架在空僚機進行空對空飛彈攻擊的空中指揮和管制。根據這套系統的原廠「俄羅斯航電」資料指出，譯碼型空地兩用通信C3系統能接受地面戰管的指管，也能充當其他在空機隊的空中指管中心，在技術上是從Su-27所裝備的基本型通信系統向前飛越了一大步，後者只有一種通信頻道，C3系統也是現行所有俄製系統中第一種能像美國海軍F-14A「雄貓」戰鬥機的AWG-9雷達一樣可以形成區域中心通信網路的系統。

根據俄羅斯已公佈的資料，Su-30MKK的電戰系統採用了俄製的最新技術，它的雷達警告接收器(RWR)所提供的信號數據就足以供Kh-31P反輻射飛彈的標定資訊，而不必用到機上的其他探測裝置，例如可和Kh-31P搭配的L-150型電子情報(ELINT)系統。RWR的最大偵測距離可達數百公里之遙，對於射程在200公里的Kh-31P來說已綽綽有餘，所以它的射程起碼也不會少於這個距離。

由Su-30MKK機載的RWR所偵測到的威脅情資能被液晶顯控器Liquid Control Display--LCD和多功能顯控器Multi Function Display--MFD所呈現，由飛行員手動模式操作或自動模式時，能顯示威脅最大的4個目標。它的主動式干擾莖艙裝在機翼的兩端，APP-50型熱誘彈發射器裝置在尾柱上，可裝填96枚具有各式功能的誘餌

註12 Sukhoi Su-30MKK, Development, 行1~3 http://en.wikipedia.org/wiki/Sukhoi_Su-30MKK#Electronic_warfare_systems

註13 孫德海，國外電子戰發展綜述及對中國電子戰研究的思考，《艦船電子對抗》第26卷 2003, 第1期，頁5欄2段3行1~7



。至於中國自製的電戰系統包括BM/KG 300G型和KZ 900型，在經沿改後也能用於機載電戰裝置，但像這種修改工程卻不在原始合約中，也未曾和俄羅斯達成系統升級的交易，僅只被中共自行用於增強Su-30MKK的電戰性能。

Su-30MKK的四重餘度線傳飛控系統(FBW)也是由俄羅斯航電設計，它和印度的Su-30MKI使用同樣的一套系統，俄羅斯的消息已證實由中共自製的同級系統已接近完成階段，它將取代原先俄製的系統。但是根據西方媒體和中共官方在第6屆「珠海航展」中所公佈的自製型四重餘度線傳飛控系統是為配合中共自製的「太行一渦扇10A」發動機一起問世，尚無資料確定聲稱中共自製之飛控系統和發動機將會用於Su-30MKK的升級。《附註二》

1980年代Su-27戰鬥機進入前蘇聯空軍服役時先配備N001雷達。這種雷達設計之初是為了超越美國的APG-63雷達，但實際情況卻不盡如人意。配備這種雷達的Su-30K曾參加了2004年美國和印度合辦的「印度對抗04號」空戰演習。在這次演習的模擬視距外空戰中，Su-30K擊敗了配備改良型APG-63雷達的美軍F-15C制空戰鬥機，然綜合各方的消息，美印雙方對自身實力均有所保留，特別是美國為獲得Su-30戰機的資訊，對己方的雷達性能做了大幅保留。其實在舉行「對抗」演習之時，俄羅斯已經開始向印度交付新型的蘇Su-30MKI，並提供首批生產型N011M「雪豹」相位陣列雷達。目前，N001M仍是除了F-22A配備的APG-77雷達之外最高技術的現役機載雷達。美國AWG-9和APG-71雷達雖然在功率上有一定優勢，但是俄羅斯N011M雷達採用的混合相位陣列天線設計賦予其低雜訊係數卻是後者所無法比的，AWG-9和APG-71接收機低雜訊係數是N011M的近3倍。【註14】

Su-30MKK的機載雷達機組已被持續升級，目前已知的共有3種新衍生型，它們全都由RLPK-27VE型整合式雷達標定系統所控制，這型系統原是從單座Su-27用的RLPK-27型發展而來，而這兩種系統皆由俄羅斯著名的教授級設計師維克多·康斯坦丁諾維奇·格里辛(Viktor Konstantinovitch Gerishin)所設計，他隸屬於「提克赫米洛夫儀器研究所」的航空儀器設計部門，即為NIIP，該單位專責於俄空軍的多種機載雷達與武器系統的研發。以下對這兩種雷達做一簡介：

N001VEP型：N001VEP型射控雷達配備於前二十架Su-30MKK機隊，探測距離長達100公里，可持續追蹤10個目標，同時接戰其中的4個在空中目標或2個地面目標。N001VEP也是維克多·康斯坦丁諾維奇·格里辛所設計，係由前一代的N001VE發展而來，裝備在中共仿製的「殲十一A」戰鬥機上。原來的巴格特N001VE雷達已逐漸

註14 凌弘毅口闕隱楓，俄羅斯先進機載雷達掃描，《現代兵器》，2009年1月，頁22欄2段2行1~9；頁22欄3段1行1~13》



由巴格特55系列取代，但如N001VE型一樣，新的雷達仍具備對移動中目標標定(MTI)和航圖顯示的能力，也能探測低飛與盤旋的直升機。N001VEP的掃描區域達 120° ，俯視角達 110° 。

「甲蟲」(Zhuk)MS型：從第21架的Su-30MKK算起開始裝備「甲蟲」(Zhuk)MS型雷達，它是由「提克赫米洛夫儀器研究所」(NIIP)的老對手「潘佐頓」(Phazotron)(NIIR)所設計，像N001VEP一樣採用溝槽狀平面陣列天線，探測距離長達150公里，可導引更多樣的武器系統。可被接戰的目標數量與N001VEP相同，但能同時追蹤的目標增加到20個，等於N001VEP的2倍，它也是供Su-27和MiG-29使用的「甲蟲」系列雷達改良型，但在實質上已和原始的「甲蟲」雷達不可同日而語，「甲蟲」MS型在探測與追蹤／接戰目標的功能上具備以下的各項特點：

1. 雷達天線直徑從680公釐增加至960公釐。
2. 工作高峰功率從5kW增加至6kW。
3. 平均功率從1kW增加至1.5Kw。
4. 「甲蟲」MS不是相位陣列天線，但卻裝備了溝槽狀平面陣列天線。

「甲蟲」(Zhuk)MSE型：「甲蟲」MS型在Su-30MKK的性能升級計畫中也正逐漸被「甲蟲」MSE型取代，至於之前量產的「甲蟲」MS型也會被升級到「甲蟲」MSE型的標準。二者在天線尺寸上相同，但對地面目標的同時接戰數量可提高至4個，再者，也像「甲蟲」MS型一樣，它也並非採取相位陣列天線技術，同樣係溝槽狀平面陣列天線，原設計廠「潘佐頓」宣稱新型雷達比舊型具有更佳的電子反反制能力。

在2006年舉行的第6屆「珠海航展」中，俄羅斯廠商的技術員在新聞發佈會上曾向大陸新聞宣佈已和中共官方合作開發一款被動電子掃描相位雷達，以提升Su-27SK和Su-30MKK機隊，但卻未說明其中的細節，這批技師均為「潘佐頓」廠人員，是一般蘇霍伊「側衛」系列家族所使用之雷達，而非來自提克赫米洛夫儀器研究所。部份中共國內的媒體已宣稱中俄雙方將合作開發「甲蟲」MSF型，但實情尚待證實，其次，中共也極可能用「殲十一B」的雷達裝備在Su-30MKK上以增加其性能，讓探測距離增加至350公里，同時還能接戰4個在空中目標和4個地面目標。【註15】《附表一》

在第一至第二代Su-27系列仍在使用的提克赫米洛夫儀器研究所(NIIP)設計的N001V系列雷達時，該所就曾研製一種「羽毛」(Pero)被動相位陣列雷達，它將反射的X波段透鏡式饋電雷達天線用於搜索功能，藉由嵌設在雷達矩陣上的L波段的偶

註15 Modern Fighter Aircraft Radars, Phazotron Zhuk MSF/MSFE <http://knol.google.com/k/modern-fighter-aircraft-radars#>



極子陣列，從而將敵我識別／二次掃瞄等功能整合成了整個雷達系統。其實，這也是美、俄等國家讓傳統平面陣列機械掃瞄雷達獲得敵我識別／二次掃瞄功能常用的技術。在部份的同類型雷達的天線矩陣平面上，通常可以看到一排或兩排像樹枝狀的突出棒，其實那就是偶極子陣列。

肆、N011M「雪豹」電子掃瞄相列雷達

N011M「雪豹」是俄羅斯在1990年代研製的最先進的一款雷達，採用混合相列雷達天線設計，屬被動相列雷達。N011M使用與歐美國家主動相列雷達類似的接收器技術，並有類似的靈敏度和旁瓣抑制性能。發射器由導波管和天線陣列背面的導波饋電系統組成，與美國B-1B轟炸機和法國「颶風」(Rafale)戰鬥機使用的RBE2 PESA被動相列雷達類似。N011M的研製無疑是現行被動相列雷達與西方同時期主動相列雷達的過渡產品，同時，它的出現也從另一層面透露出俄羅斯設計人員無法獲得砷化鎵功率電晶體的事實，這種電晶體是美國現役相列雷達的基本組成部分。

基本型N011M採用一具直徑0.9公尺的混合相列天線，每個接收單元都有一個低雜波接受放大器，這使得雷達的雜波係數可以控制在3分貝左右，與當前許多西方國家的主動相列雷達接近。N011M有3個接收器通道，推測這是為考量到旁瓣抑制和電子反制等反干擾措施的需要。N011M使用的EGSP-6A發射器使用單一的「Chelnok」導波管，它在不同情況下的發射功率也有所不同，高峰功率為4~7kW、連續照射功率為1kW。

N011M的正面對頭仰視探測距離為130公里，機尾追蹤距離為90公里，電子掃瞄時主波束的俯仰角為 $\pm 70^\circ$ ，方位角為 $\pm 40^\circ$ 。N011M還可以進行傳統的機械式掃瞄，並且能將天線矩陣平面進行 90° 旋轉以便更能適應空對地／海面模式的作戰需要。【註16】

N011M目前仍在批量生產當中，主要配備在伊爾庫茨克飛機製造公司為印度、馬來西亞生產的Su-30MKI/MKM上。此外，鑒於N011M與N035「雪豹」E之間的諸多相似性，未來N011M將能夠升級到N035的配置水準。

俄羅斯最近又發展出了高峰功率可達20kW的N035「雪豹」E相位陣列雷達，它是N011M「雪豹」的直接發展型。【註17】中共空軍在換裝第5代主力戰鬥機之前，勢必會遵循俄羅斯空軍的既有經驗，先對現役中的Su-27SMK、Su-30MKK與海航的Su-

註16 凌弘毅口闕隱楓，俄羅斯先進機載雷達掃描，《現代兵器》，2009年1月，頁25欄1段1行6~11

註17 Tikhomirov NIIP N035 Bars E / Air Power Australia，Carlo Kopp，2010/6/20 段1行1~4 <http://www.airspacepower.net/APA-Flanker-Radars.html>

30MK2機隊換裝N035「雪豹」E相位陣列雷達，以便讓這些在中共航空部隊擔任第一線打擊任務的主戰兵力可以具備更多的對地／對海作戰模式，以符合所謂「攻防兼備」的戰略目標，繼而帶動裝備保修上的戰術價值。《附註三》

N035「雪豹」E是俄羅斯繼N011M之後發展的又一款新型相位陣列雷達，《圖6》從2004年開始研製，目前已經確定配備在最新型的Su-35BM戰鬥機上，將來還



圖6 Su-35裝備的Tikhomirov NIIP N035「雪豹」E射控雷達系統可能將獲中共採購搭載於現役的蘇霍伊系列戰鬥機上。

(資料來源<http://www.ausairpower.net/APA-Flanker-Radars.html>)

有可能配備在Su-27系列戰鬥機的最新改良型。Su-35BM已在2010年開始批量生產，N035的生產日期可能與之相似。2005年底，N035雷達的原型樣機開始進行飛測試驗。N035是N011M的直接發展型號，保留了後者的混合相列天線設計，具備更強的發射功率，但雜訊係數稍差，達3.5分貝。同時，接收器通道也由原來的3個增加到4個。N035與N011M最大的區別在於採用了新型EGSP-27發射器。

相比於與N-011M的EGSP-6A，EGSP-27採用一對高峰功率達10kW的「Chelnok」導波管。這使得N035的高峰功率可達20kW，平均功率5kW，連續波照射功率2kW。儀器製造研究所稱N035擁有兩倍於N011M的頻寬，並提高了頻率捷變能力。所以可以想見N035的電子反反制ECCM性能將更形加強。N035還使用了Solo-35.01新型數位信號處理器和Solo-35.02資訊處理器，但保留了N001M上的接收機硬體設備，如主控激勵器和振盪器等。

隨著雷達功率的增大，探測距離也有了相應提高。根據儀器製造研究所提供的資料，N035對雷達反射面積為3平方公尺目標的正面仰視探測距離可達350~400公里，對雷達反射面積為0.01平方公尺正面目標的探測距離也可達90公里。在邊跟蹤邊掃描的工作模式時，N035可同時跟蹤30個目標，可同時引導2枚R-27同級的中程半主動雷達導引空對空飛彈；如果引導R-77同級的長程主動雷達導引空對空飛彈，數目可達8枚。值得注意的是，N035還能對R-77M-PD型衝壓式空對空飛彈引導攻擊F/



A-18E/F、歐洲「颱風號」、F-16 Blk 50/52+戰鬥機這一級的低受探測性目標。【註18】

當然，當中共軍工部門一旦獲得全套的N035「雪豹」E相位陣列雷達技術，也必然將會應用到其自行仿製的「殲十一」B機隊之上，屆時，中共空軍的蘇霍伊系列戰鬥機將具備全功能的防空攔截、對地阻絕、對海攻擊、長程滲透與電戰壓制的各項空戰任務遂行能力。對美「第一島鏈」上的各座基地將構成全天候的空襲突防能力。

目前，N-011M的低可被截獲概率技術（縮寫LPIR--Low-Probability-of-Intercept Radar，低可被截獲概率技術是雷達實現自身匿蹤和對抗反輻射武器的有效途徑）性能較差，可能是受限於頻寬和處理器性能，這也許會隨著N035的投入使用而有所改觀，一些國外用戶要求雷達能夠對抗西方電子支援設備／技術的要求也能得到滿足。

伍、機載X與L波段雷達互補搭配佈局

目前，供Su-27/Su-30系列戰鬥機使用的現役各型機載射控雷達，幾乎均以X波段（8,000~12,000MHz）為主要電磁工作區域，L波段探測雷達的體積、重量、電源、冷卻以及高昂的使用成本，都使其很難在戰鬥機上得到使用，X和Ku波段（12~18GHz）雷達所能獲得的高精確度也為L波段無法比擬。所以利用頻寬更廣的其他波段天線藉之以補強主要射控雷達就成為俄羅斯戰鬥機電子系統的一項發展趨勢，至於L波段（1,000~2,000MHz）由於用途較為廣泛，甚至涵蓋部份軍民兩用通信波段，因之，成為這個工作範疇內的第一選項，例如各國新推出的多款預警機就都是以L波段為工作頻寬區域。此外，世界多種防空系統中都有採用的「聯合戰術情資分佈系統」（Joint Tactical Information Distribution System--JTIDS）和「多功能情資分佈系統」（Multi Information Distribution System--MIDS），甚至如「Link 16」數位資料鏈路等都是採用L波段工作，其他像一些必須利用衛星導航和定位、地圖比對的精確導引武器也都以L波段為串連基礎。

根據以上既有之條件，俄羅斯發展機載AESA-L的想定便不足為奇，這種以模組化構型為塊狀的主動電子相位陣列天線便可以利用Su-27/Su-30系列的龐大機翼前緣內部《圖7》，預置L波段的發射／接收天線模組，將能補強機鼻錐罩內的X波段雷達掃描角度和工作波段，還可以根據機載雷達的實際需要，以L波段提供一些額

註18 Flanker Radars in Beyond Visual Range Air Combat / NIIP Irbis E Prototype / Carlo Kopp / 段3，行5~10



外的附帶功能，換言之，以單一的L波段設計同時協作運行一般的探測功能，以及敵我識別和二次雷達掃描的「第二功能」。^{【註19】}

陸、結語

綜合近年以來的各場戰爭觀察，現代戰爭已由空權發展至電磁權，進而全面掌控戰場優勢的必須條件和技術，所以電子戰也等於所謂「高技術條件下局部戰爭」的重要內容，打贏電子戰必須有相對的電子作戰能力。所以，中共空軍必然會從提高軍隊整體作戰能力、做好「打贏高技術條件下局部戰爭準備」的總目標出發，用系統發展的觀點，以符合裝備發展「兩成兩力」，意即「成建制」、「成系統」、「作戰力」（戰備力）、「保障力」（後勤整補）的軍工維持教範準則，創造所謂「具有中國特色的軍事技術變革」的樣貌^{【註20】}。

研究空用電子作戰能力發展和空用電子作戰戰法，做到以電子戰理論為先導，明瞭中共空軍戰術飛機的電子戰能力與中共其他軍兵種作戰能力的協調發展，洞悉中共整體的聯合作戰能力為研究目的。^{【註21】}從2009年8月在莫斯科國際航展會場中公佈的提克赫米洛夫研究所(NIIP)展出之新型X波段主動電子相位陣列雷達《圖8》

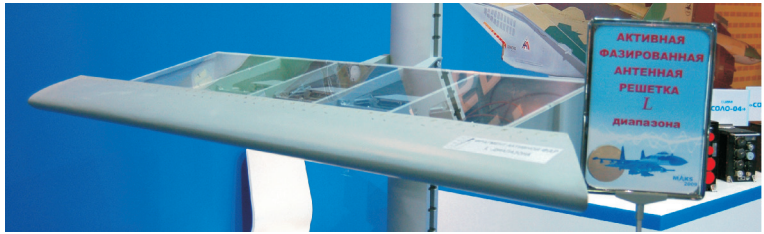


圖7 2009年莫斯科航展會場中公佈的Su-30/35系列機翼前緣專用AESA L波段輔助雷達。

(資料來源http://en.wikipedia.org/wiki/Tikhomirov_Scientific_Research_Institute_of_Instrument_Design)

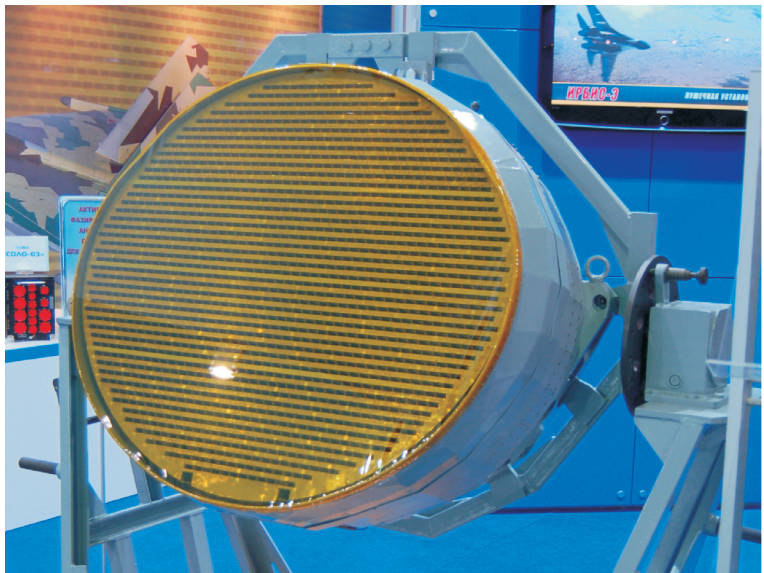


圖8 在2009年莫斯科航展會場公佈的PAK FA T-50戰鬥機用AESA雷達。

(資料來源http://en.wikipedia.org/wiki/Tikhomirov_Scientific_Research_Institute_of_Instrument_Design)

註19 凌弘毅，驚世之作——俄羅斯新型L波段機載襟翼有源相控陣雷達，《現代兵器》，2010/2，頁22欄1段2行8~13

註20 「兩成兩力」——中國特色軍事變革的基礎工程，2003/9/2，《中國南方網》報導，段1，行1~5

註21 孫德海，國外電子戰發展綜述及對中國電子戰研究的思考，《艦船電子對抗》第26卷，2003，第1期，頁5欄1段4行5~11



，必然會成為包括中共在內的世界各Su-27、Su-30和Su-35系列戰鬥機使用國提升射控雷達系統的首選。

附 註

《附註一》 Su-30MKK型號來源

Su-30MKK所有的飛行測試都在俄羅斯遠東地區的阿穆爾共青城加加林飛機製造廠(Komsomolsk-on-Amur Aircraft Production Association—KnAAPO)進行，起先俄羅斯當局以「共青城」(Komsomolsk)的字首「K」字母解釋這架新飛機型號中的第二個「K」字，以替代俄文「中國」(Kitayski)的「K」字，謠傳此舉係俄國當局為因應中共保密的要求所採取的文字障眼法，直到1999年8月15日俄羅斯空軍總司令才向西方媒體公佈中共確已採購Su-30MKK，自此俄羅斯的文件中才正式將Su-30MKK型號的第二個「K」字明定為「中國」(Kitayski)。

《附註二》中共與南洋Su-30MKK/MK2部隊成軍時間表

Su-30 MKK

第1批10架Su-30MKK於2000年12月自俄羅斯KnAAPO廠直接飛送給安徽蕪湖基地的第3殲擊機師第9團(11X4X)，其餘38架在2001年年底前完成交機。

第2批38架在2001年7月訂購，於2003年交機，由湖南長沙基地的第18殲擊機師操作。

Su-30 MK2

中共海軍航空兵在2002年1月向俄羅斯訂購了24架Su-30MK2，這批改良型機隊在2004年8月交機完成。中共的Su-30MK2採購也帶動了東南亞的軍備競賽。

同年9月，南美洲的委內瑞拉也訂購了24架Su-30MK2，於2008年全數交機。

印尼在2008年年底訂購了3架Su-30MK2，2009年年初交機。

越南在2009年1月向位在河內的Rosoboronexport軍備出口公司訂購了12架Su-30MK2，以作為研究對抗美製F-16的作為之一。

《附註三》中共空軍「殲十一」戰鬥機單位

中共空軍計有7個現役的殲擊機師使用「殲十一」戰鬥機，計為：

第1殲擊機師第1團(遼寧鞍山)(10X2X)

第2殲擊機師第4團(廣西柳州)(11X3X)

第2殲擊機師第6團(廣東遂溪)(16X3X)

第6殲擊機師第16團(甘肅臨洮)(10X7X)

第7殲擊機師(河北張家口)(11X8X)



第14殲擊機師第41/42團(江西向塘)(20X5X)

第29殲擊機師第85團(浙江衢州)(40X0X)

第33殲擊機師第97團(重慶白市驛)(40X4X)

《附註四》中共空軍Su-30MKK戰鬥機單位

第2殲擊機師第6團(廣東遂溪)(6XX)

第3殲擊機師第9團(安徽蕪湖)(11X4X)

第18殲擊機師第54團(湖南長沙)(20X2X)

附 表

《附表一》俄製蘇霍伊Sukhoi系列戰鬥機專用機載射控雷達系統性能一覽表

雷達型號	性能參數	搭載機種
潘佐頓「甲蟲」AE (AESA主動電子掃描相列雷達)	前視探測距達 148 公里 (潘佐頓公司官方宣稱前視可達 200 公里) 機尾探測距達 50 公里(機尾俯視達 40 公里) 掃描模式可追蹤 30 個在空目標機 同時可接戰 6 個目標 具備俯／仰視能力	MiG-35
潘佐頓「甲蟲」ME (PESA被動電子掃描相列雷達)	0.7 公尺直徑孔徑 前視探測距達 120 公里 掃描模式可追蹤 10 個在空目標機 同時可接戰 4 個目標	MiG-29K
潘佐頓「甲蟲」MSF/MSFE (PESA被動電子掃描相列雷達)	0.98 公尺直徑孔徑附帶 1662 個散熱器單位	中共空軍 Su-30MK3
提克赫米洛夫 NIIP Irbis E (20kW 混合電子掃描相列雷達)	目前各型現役戰鬥機中最大的雷達機組 高峰功率與美製 F-22 的 APG-77 相近 可探測 350~400 公里內 3 平方公尺的移動目標和 90 公里內 0.01 平方公尺的目標 掃描模式可追蹤 30 個在空目標 可同時引導 2 枚 R-27 級半主動空對空飛彈或 8 枚 R-77 系列主動飛彈 (特別以 R-77M 視距外飛彈接戰低受探測度目標機)	Su-35
提克赫米洛夫 NIIP N011M「雪豹」 (混合電子掃描相列雷達)	前視探測距達 120 公里 機尾探測距達 80 公里 0.9 公尺直徑孔徑 主波瓣掃描+/-70~+/-40 俯仰視能力 陣列天線可被機械驅動 表面搜索模式達 90 可同時追蹤空地目標 接戰 4~8 個目標 可以被動模式將空情傳遞給其他 4 架僚機	Su-30MKI
提克赫米洛夫 NIIP (AESA主動電子掃描相列雷達)	微橢圓形以配合「未來前線戰鬥機系統」(T-50)的 截面積 1500 個發射／接收單元構成固定式天線 使用 1 具額外的適形矩陣天線以增加探測涵蓋角	PAK-FA T-50 (俄羅斯第 5 代 戰鬥機的原型 機)

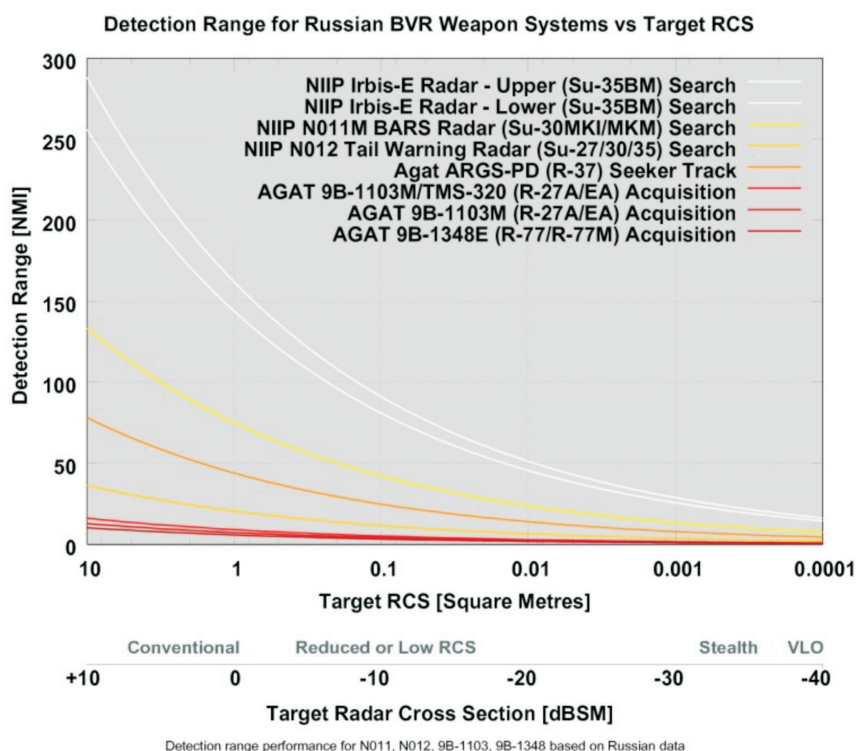


《附表二》 Su-27/30系列NIIP系列機載雷達與俄製視距外武器系統探測協作圖

(資料來源<http://www.ausairpower.net/APA-Flanker-Radars.html>)

橫(Y)軸表「目標雷達截面積」(平方公尺)

縱(X)軸表「NIIP機載雷達探測距離」(英哩)



表格參考資料：

1. Ref: <http://www.ausairpower.net/APA-Zhuk-AE-Analysis.html>

http://www.janes.com/extracts/extract/jav/jav_b093.html

2. <http://knol.google.com/k/modern-fighter-aircraft-radars#>

作者簡介

聘雇教官 魏光志

學歷：空軍官校60年班，經歷：空軍總部國情組上校組長、情報署副署長，現職：空軍官校飛指部模訓組AT-3模擬機室教官。

碩士研究生 耿志雲

經歷：空軍戰管部隊退役，國際電子戰協會會員、青年日報軍事科技專欄作者，現為國防大學政戰學院中共解放軍研究所研究生。