

Su-35BM戰機暨俄羅斯第五代戰機技術初探(下)

軍事專欄作家 楊政衛

提 要

- 一、俄羅斯第五代戰機計畫PAK-FA已於2001年5月18日正式啟動，隨其計劃的演進，俄國對戰機升級換代已有明確規劃，即在五代戰機T-50(PAK-FA)問世之前，將由4+代與4++代填補4至5代機之空缺。其中4+代戰機技術主要源自原訂於1990年代初期服役之Su-35，4++代則引入90年代末期技術乃至第五代戰機技術。
- 二、T-10BM/Su-35BM為2003年開始改良的4++代戰機，除引入近年Su-27系列戰機之最新技術外，並加入為第五代戰機及Su-34/32開發之技術。除射控、機動力、隱形等直接影響戰鬥力的改良外，在人機介面、專家化、人因工程、維護性、壽命等層面亦有著墨以趨近第五代戰機。
- 三、以俄國已用於4+代Su-27系列及五代實驗機Su-47、1.44之技術及媒體釋出之Su-35BM改良項目看，俄國目前已有能力讓Su-35BM具備全面對抗其假想對手EF-2000、F-16E/F等歐洲四代及美國3+代戰機之性能。若加上近年推出的更先進技術，甚至可能達到壓倒其對手並更接近21世紀空中王者F-22的程度，唯其最終進化到何種程度還取決於銷售考量及PAK-FA之實際進度。
- 四、Su-35BM搭配KS-172後相當於“收錄”了MiG-31M之攔截與管制性能，對絕大多數已存在之傳統戰機將具有壓倒性的不對稱優勢，將對使用國週遭之空權均衡造成強烈衝擊。此種特性在其“商業機型”中屬首見。其對區域安全及國際政治的影響力值得觀察。
- 五、儘管近年中共對俄軍購熱度趨緩且自身國防工業捷報頻傳，然以其技術實力論，僅引擎技術就可能限制其自研四代戰機的進度，故數年後引進俄製4++代或5代戰機成品填補戰力空白或購入技術用於國產品亦可能為難免之趨勢。
- 六、按計畫，Su-35BM之機載系統將同等於屬於5代的PAK-FA最初型，因此透過對Su-35BM的研究大致可了解2010前後數年的俄國航空科技樣貌，此即大約為中共屆時取得之技術等級。

關鍵詞：Su-35，AL-41F，電漿隱形，過失速機動，第五代戰機

研 析

Su-35BM 性能諸元		
長		21.9m
翼展		15.3m
高		5.9m
空重		16,500kg
燃油儲量	內油箱	11,500kg
	含副油箱	14,300kg
武器籌載		8,000kg
起飛重量	正常	25,300kg
	最大	34,500kg
	極限	38,800kg
最大速度	低空	1,400km/hr
	高空	2,400km/hr
	馬赫數	M2.25
最大航程	低空	1,580km
	高空	3,600km
	含副油箱	4,500km
實用升限		18,000m
重力負荷		9G
機體壽命		6,000hr
引擎推力		14,500kg x 2(可超音速巡航)
引擎壽命	大修週期	1,000hr
	最大壽限	4,000hr
Irbis-E 雷達	對普通戰機探距	150km(追)~400km
	對低可視戰機 (RCS=0.01m ²)	90km
	打擊能力	追 30 打 10

一、空戰性能——飛行性能與武器部分

Su-35BM 氣動外型基本不變，推力更大且重量輕（在家族中僅重於 Su-27S、Su-27P 等俄軍自用空優型），故在加速能力、過載性能上一般而言當為家族中最佳者。雖然沒有前翼在高速時的降穩增敏以及低速時的增升增敏功能，但向量推力的使用可彌補不足

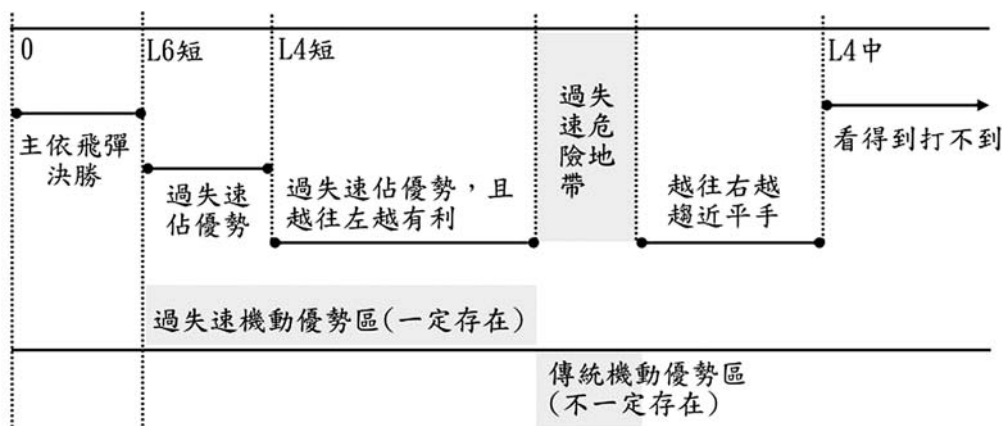
（但不是完全取代，TVC 能提供甚至高於前翼提供的指向性與高攻角控制性，但傳統佈局在高攻角之氣動效率先天不如加前翼者之事實仍未改變）。

若正常起飛重以公布的 25,300kg 計算，Su-35BM 的起飛推重比為 1.15~1.26（視使用的 AL-41F1 是何種次型而定），低空低速空

戰推重比 1.24~1.37（假設消耗約 1/3 燃油後進行空戰），對於俄軍自用之 Su-35BM，單具引擎最大推力可能在 15~16 噸，上述推重比將分別增至至多 1.26 及 1.37。此種推進能力大概僅遜於 F-22 與配備 EJ-230 引擎的後期型 EF-2000。儘管如此，Su-35BM 之表面積負荷仍小於 EF-2000、Rafale 等鴨式佈局飛機，表示高次音速平飛時單位阻力很可能大於後二者 [125]⑭；又其“推重比/表面積負荷”仍較 EF-2000 及 Rafale 小，暗示其推力仍可能不足以補償增加的阻力。故 Su-35BM 與 EF-2000、Rafale 在各速度條件之飛行性能差

異仍可套用 Su-35 的結果來近似：即高次音速平飛加速性能較差 [126]；而機動狀態時，Su-35 指向性可能不如 EF-2000、Rafale 等鴨式佈局之狀況在 Su-35BM 可由 TVC 補償，甚至可能仗過失速機動能力而反過來超越後二者 [127]，因此 Su-35 因氣動佈局特性之故產生相對於 EF-2000、Rafale 之先天劣勢到了 Su-35BM 估計將只剩下在某些超音速狀態以及高次音速平飛之場合。

TVC 可在較不受酬載、速度等條件之限制下將飛機之指向性能極限壓榨出來 [128]，這通常隱含著掉進過失速區域之可能性。如



敵我皆在高空時，過失速戰機優劣勢區域推測

L6短：短程飛彈之全週界防衛半徑，約10km（對射程30km之短程彈如R-73E而言）

L4短：短程飛彈之零初速最大射程，約20km（對R-73E而言）

L4中：中程飛彈之零初速最大射程，約60km

此圖適用於敵高我高之場合，敵我都在低空時，飛彈射程均下降，此時圖中之 L6短、L4短、L4中均向左壓縮。但圖示之陰影部分（過失速危險區與優勢區）位置則不變。即若過失速危險帶大於“L4中”，則過失速戰機平均而言沒有危險地帶。

過失速機動與傳統激動之優劣勢區間推測（參考空軍學術雙月刊 595 期過失速機動專文）

註⑭ 表面積當然並非唯一影響寄生阻力之參數，唯其佔相當之比重，故以表面積估計寄生阻力大小，並以單位質量之表面積估計單位質量之寄生阻力大小。由於這僅是估計，因此以下一再使用“可能”字眼。



果不願意進入過失速，壓榨出的指向性將多少受限，但仍高於普通飛機；如果願意進入過失速，則必要時 TVC 可以輕易的讓飛機以最短的時間進入過失速領域，而具備無與倫比的指向性。過失速機動能力的存在擔保飛機的失速前指向性可被無限制的壓榨出來，也是極危險狀況（雙方短程飛彈性能相當彼此距離又在飛彈最大射程附近，或自身酬載過重或速度太低而無法以傳統飛行方式保命等情況）下最後的保命符。

過失速機動能否真的實用化以為失速前極限指向性“背書”，或是在必要時犧牲速度解決眼前敵人（而不是以高速脫離戰場待下回合再戰），將取決於過失速飛機能否“任何時候・快速・任意指向”。若可，則解決眼前敵人後較能繼續對抗後續威脅，具實用性；反之，解決眼前敵人後有深陷險境之慮，實用性較低。

Su-30MKI 的特技表演便展現了以 TVC 對抗當前運動趨勢並朝反方向運動的能力：其曾在拉攻角期間將 TVC 向下打（產生低頭力矩）而將攻角變率瞬間降到 0；或在進行高攻角滾轉（攻角約 90 度，此時的滾轉幾乎等

於偏航）時以 TVC 停住滾轉（或說偏航）並朝反方向滾（或說偏航）。此外，Su-30MKI 與 Su-37、MiG-29M OVT 都曾表演過的“連續雙法輪”的第二個法輪則表示其“即使無初始速度也能進行零半徑 360 度筋斗”之能力。以上都展現了 TVC 任何時候都能任意指向的能力（因為它連對抗運動趨勢並朝反方向機動的能力都有了）較晚問世的 MiG-29M OVT 則展現更為強勢的過失速機動：其進行眼鏡蛇機動時，攻角拉到近 180 度，並用 TVC 強行低頭使飛機恢復水平（而不像 Su-27 要等待氣動力將其“壓回”或像 Su-35 的“超級眼鏡蛇”那樣先以偏航指向地面再加速），使得極大攻角只發生於一瞬間¹⁵，可見其失速後指向能力已經接近“任何時候・快速・任意指向”之條件¹⁶。再者，由 TVC 運作機制看，用 MiG-29M OVT 的機動能力較 Su-30MKI 更能近似 Su-35BM 的過失速性能¹⁷。而且由於 Su-35BM 之空戰推重比更高，故失速後指向能力極可能更勝於 MiG-29M OVT¹⁸，且其空戰推重比超過 1.2，滿足過失速機動研究先驅賀伯斯特提出的標準 [129]，推測 Su-35BM 會是具備較無懼後續威脅的實

註¹⁵ MiG-29M OVT 於 2005 年莫斯科航展展現此機動時，從最大攻角拉回水平用了約 3~4 秒，時間與傳統眼鏡蛇機動差不多，但傳統眼鏡蛇最大攻角 90~100 度，而當時 MiG-29M OVT 攻角已近 180 度。

註¹⁶ 即使不靠 TVC 也是可以“快速・任意指向”的，例如在一定速度下的高攻角狀態做滾轉，則飛機會因陀螺進動效應之故作出“飛機指向繞著速度向量跑”的機動，善用這種方法也可以很快的指向任何方向，例如 F-18 HARV 實驗機極為流暢的失速後指向。但上述機動法仍需具一定速度，在極端環境如零速度時，就只有 TVC 具有控制能力，故 TVC 才能提供筆者提出之實用型過失速機動三個條件中的“任何時候”一項。

註¹⁷ Su-30MKI 雖然也具備三維向量推力控制能力，然其是由兩顆二維 TVC 引擎各向外旋轉 32 度安置達成的。這使其在進行指向控制時，有一部分指向用推力（垂直於機體者）是浪費掉的（圖 21）。例如其

接續下頁

用過失速機動的戰機。

“Su-35BM 很可能是具備實用型過失速機動能力的戰機”這項結論相當重要，因為其過失速機動的“實用性”使其具備攻擊性。所謂具備攻擊性並不是說 Su-35BM 一遭遇對

手就要立刻減速進入過失速，而是飛行員可以盡情壓榨其失速前性能，倘若真的進入過失速狀態，他也可以較從容的應付後續威脅（因其指向快，加速逃逸也快）[130]。俄係飛彈在中近程有 R-73 與 R-77 二強，若其電子系統可靠性足夠，則 Su-35BM 之類俄係實用型過失速戰機在中近程空戰上的設想是最周到的。隨著隱形技術的進展，吾人難以確保低可視度戰機之互視互射距離永遠在超視距範疇，加強中近程乃至視距內戰力某些情況看好像是倒退走，但卻可能是符合實際需要的。

Su-35BM 將是俄 4 代與西方三代戰機改良型中第一種正式具備超音速巡航性能者。雖然其外型幾乎沒有更動，但須注意到其繼承 Su-27 系列優異的超音速氣動設計（例如其進氣道設計）與更高比例之鈦合金（僅 Su-27 之鈦合金使用比率便超過 40%，相當於 F-22），因此本身就具備成為高效率超音速巡航戰機之條件，加上其具有向量推力控制 (TVC) 能力，能增強超音速靈巧性。整體觀之其超音速性能不見得遜於擁有最低氣動穩定

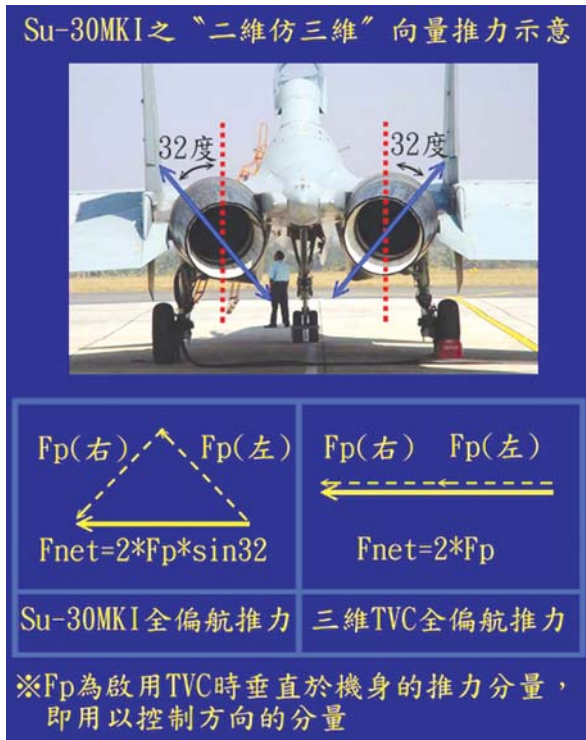


圖 21 Su-30MKI 向量推力控制示意

TVC 完全用於俯仰控制時，指向用推力約為純三維 TVC 的 0.85 ($\cos 32^\circ$) 倍，完全用於偏航時，約為純三維 TVC 的 0.53 倍 ($\sin 32^\circ$)。因此若換上純三維噴嘴，Su-30MKI 俯仰 TVC 操控力為原來的 1.17 倍，偏航 TVC 操控力為原來的 1.88 倍。此外，Su-30MKI 空戰推重比勉強超過 1，噴嘴轉角 $+15^\circ$ ，MiG-29M OVT 推重比則將近 1.1，噴嘴轉角 $+20^\circ$ ，故 Su-30MKI 的失速後能力本來就有很大的改進空間，過失速機動之潛力在 Su-30MKI 上無法完全顯現。

註⑱ 嚴格講，過失速機動能力好壞不只決定於推重比。過失速指向性最主要取決於“力矩—轉動慣量比”但這項參數吾人根本無法由公布的數據求得。因此暫用推重比估計。畢竟除非質量分布差距太誇張，否則推力大重量小（即推重比大）的要改變姿態應當容易些。吾人僅需切記以推重比衡量失速後指向能力只是近似，不是絕對。



度但尚無向量推力的 EF-2000。

二、空戰性能—航電部分

由 Su-35BM 的 Irbis-E 雷達性能及所配備之武器觀之。其在 KS-172 射程（300km 或 400km）以下便開始可對 MiG-21 大小的傳統戰機目標或更大目標發動攻擊，雖然這僅成立於高空迎面飛行狀態，但這表示 KS-172 超長程飛彈對 Su-35BM 而言已不只是用於打擊預警機，而是將位於 300km 外之一切傳統戰機（未經過低可視度處理者）皆視為打擊對象，這等攔截能力已超越 MiG-31M。其對 RCS=0.01 平方米目標之探距達 90km，相當於 MiG-29M 早期型及 FC-1 等具備最基本超視距空戰能力之戰機對傳統戰機之探距，屬傳統超視距空戰範疇，而 0.01 平方米甚至低於歐洲四代與美製三代半戰機已達到之 RCS 值（約 0.1 平方米級）。

Irbis-E 雷達搭配水平方向機械掃描後視野擴增到 $\pm 120^\circ$ ，後視雷達視野 $\pm 70^\circ$ ，故其雷達在水平方向上可以管理 360 度範圍。這表示一旦武器發射後，只要目標仍在左右各 120 度範圍內，飛機便能維持對飛彈的最大導控性能（因為此時是用主雷達），即導控 KS-172 打擊最遠達 300~400km 外之傳統飛機，或 90km 外之低可視戰機；對於位在中近程（數 10 公里處）之目標，甚至可令其落在後方左右 70 度範圍內由後視雷達維持對其之射控。如此 Su-35BM 於發射武器後便能進行更靈活的戰術機動，在維持對武器的導控的同時，降低敵機對其探測能力（減少相對速度而減弱督卜勒效應）及縮短敵武器對其之射程（因相對速度減少）。若有相關之飛控

軟體，甚至能在維持對武器之導控的同時，盡量以較低 RCS 的方向面對敵機以進一步減弱敵機之探測能力，一如瑞典 JAS-39 所辦到的一般。Su-35BM 的對手機種都不具後視雷達（EF-2000 有環場雷達，不過其屬自衛用短距探測系統），且其中採相列雷達者未具機械掃描裝置故視野多在 $\pm 60^\circ$ 度或 $\pm 70^\circ$ 度以下，採機械掃描天線者視野則在 $\pm 90^\circ$ 度以下。因此就數據看，環場射控領域 Su-35BM 將為當代最佳者。

需注意的是，以上所論係指超視距作戰場合，在此情況下，目標方位已知，只需將雷達天線指向適當的地方，令其以電子掃描繼續對目標進行射控即可，此過程不具即時性，機械裝置完全足以支援。然而，在中近距空戰場合（例如纏鬥或機群混戰），目標可視為隨機性的（在任何方向都可能），可能有機會躲到盲區而雷達卻因機械掃描之速度限制而無法即時掌握全部空情；又例如當 Su-35BM 將機械天線右轉 60 度而持續監視右方 120 度區域，則左方 110 度便成為盲區，Su-35BM 將無法靠自己察覺此區域的威脅。因此對超視距空戰環境而言，Su-35BM 具備水平方向 360 度的自主雷達視野，但對中近距空戰而言，仍需側視雷達方能夠成即時的環場自主雷達視野。當然，Su-35BM 可透過資料鏈接收僚機對其盲區的探測資訊，或由雷達預警接收器及感熱式飛彈來襲警告器察覺位於盲區之敵機發動之攻擊，但這些方法皆有侷限：透過資料鏈掌握戰情需有僚機協助，非自主；雷達預警接收器無法察覺被動導引飛彈或未開啟尋標頭的主動雷達導彈；

感熱式飛彈來襲警告器沒有上述兩項缺點但相對易受天候影響性能，且僅能被動察覺威脅而做為戰機最後保命符，無法早期發現威脅（指遠方目標，若距離夠近其理論上亦能發現飛機）而讓戰機先行反制。由於 Su-35BM 的對手機種均持續進行匿蹤性能的提升，且其在戰場上仍可能遭遇 F-22 或 F-35 等隱形戰機，這些匿蹤性能更佳的戰機對 Su-35BM 而言便屬於上述突發性目標，因此應付這類突發性目標對 Su-35BM 相當重要（甚至，筆者研判這將是 21 世紀初期空戰的主流 [131]），故儘管 Su-35BM 的自主探測視野已屬目前最佳，但若無側視雷達則在日後仍有其不足。

儘管未臻完美，Su-35BM、Su-32 這等俄係 4++ 代戰機單靠航電與飛彈進行纏鬥（而不仰賴空戰機動）之性能理論上仍屬目前最佳：其雷達視野盲區僅有 100 度，對手機種則有 180 度或 220 度之盲區；紅外線視野達 360 度，其中飛彈來襲警告器在近距離理論上可發現飛機（但不知多近，另外這一項其對手大多具備）；近距武器則有 R-73E 及 R-77，不論迎擊或追擊時之探距及射程均超越視距故可確保視距內之有效使用，兩者在射程及離軸攻擊方面都屬當代上乘（R-77 雖屬中程彈，然其網狀尾翼提供其極佳之高攻角性能及離軸操控能力，故就飛行性能論亦可視為纏鬥飛彈之一種 [132]）。故若僅考慮探測系統之探距、視野及近距飛彈性能，Su-35BM 不進行機動之纏鬥性能亦優於對手。

因此具體的說，Su-35BM 相當於完全結合 Su-27 家族的空戰能力及 MiG-31M 的攔截

及管制能力，並進一步精進而成(之前的 Su-35 及 Su-30MK 家族僅作到一部分，其雷達探距及武器攔截距離仍無法達到 MiG-31M 之標準)。對絕大多數已存在的戰機而言，搭配 KS-172 的 Su-35 不但具備壓倒性優勢，更重要的是此優勢還是不對稱的。

就以上項目看來，Su-35BM 似乎的確能如廣告所言，在許多方面超越對手。然而其能否真正在技術性能上壓倒對手的關鍵，還是在其與對手的“先視”能力高下，這就須將探測性能與隱形性能合併討論。後者正是 Su-27 系列的致命傷，故其將是決定 Su-35BM 真實實力的關鍵參數。

三、衡量 Su-35BM 價值的重要指標：0.1 平方米級之 RCS

Su-27 系列原本的 RCS 大致為 10~15 平方米，僅使用俄國 90 年代的塗料可降至原來的 1/10~1/12 [133]，即 0.83~1.5 平方米。Su-35BM 採用家族中最全面的隱形設計，因此估計其 RCS 應在 1 平方米以下，而應在連外型都略遷就隱形性能的美製 F/A-18E/F 的 0.1 平方米之上。倘若採用電漿隱形系統，則 RCS 應可降至 0.1 平方米以下。雖然 1 平方米之 RCS 搭配長程巡弋飛彈後仍可能在不被察覺或來不及反制之情況下在防區外對地面目標構成強力威脅（視飛彈射程而定），但以 21 世紀初期空戰環境看，Su-35BM 在戰場上與商場上的對手都擁有 0.1 平方米級或更小之 RCS，若 Su-35BM 的 RCS 不降到 0.1 平方米級，則“先視”優勢仍將可能在對手身上，這樣一來 Su-35BM 與 Su-27SM 便沒有本質上的差別，其“家族最徹底的隱形設計”將顯



多餘，而超機動性與優異武器系統將只能用來“拉近與對手的差距”而不是“賦予優勢”。反之，若其 RCS 降至 0.1 平方米級或更低，則其與主要對手之“先視”能力將在伯仲之間，此時空戰情況反而類似上個世紀末期戰機，如此一來 Su-35BM 的武器系統及超機動性能將賦予她很大的空戰優勢。

因此是否達到 0.1 平方米級以下的 RCS 會是衡量 Su-35BM 競爭力的重要指標，故筆者猜測 Su-35BM 的 RCS 設計目標應會在 0.1 平方米級以下，為 Su-27 系列未處理前 RCS 的 1/100。由於 Su-35BM 外型基本上與 Su-27 相同，一些“匿蹤大忌”如垂直尾翼等依然保留，對照尺寸相當的 F/A-18E/F 向匿蹤遷就的外型與 RCS 值（0.1 平方米）看，Su-35BM 要仰賴傳統隱形技術達到上述隱形性能似乎不容易，反之，若引入電漿隱形系統，則可輕易達成。於是乎，電漿隱形系統的有無將是判定 Su-35BM 是否達到隱形需求的重要指標。俄媒於 2005 年底報導俄國航空界將即刻生產電漿隱形飛機 [134]。目前俄航空界最新的戰機有三：Su-32、Su-35BM 及 PAK-FA，Su-32 甚至於更早前（2002 年）被報導可能是第一種電漿隱形飛機 [135]，由此推測電漿隱形技術很可能於 Su-32 與 Su-35BM 這一 4++ 代機種實現。

一旦 Su-35BM 的 RCS 降到 0.1 平方米級以下，其相對於 F-22、F-35 以外的對手大致同級，若搭配 KS-172 超長程飛彈事先擊落預

警機，而自身又有預警機支援時^⑩，Su-35BM 機隊將得到大範圍狀況意識 (SA) 的優勢。

四、會改進到什麼程度？

本文主要依據 Su-35BM 相關新聞提出其改良方案，複參近年已用於俄國戰機上的技術及有關廠家近年釋出的資訊，提出 Su-35BM 可能的樣貌。與歐美發展趨勢相較發現，倘若用上這全部的技術，則 Su-35BM 除了不具匿蹤外型以外都將滿足西方四代戰機的主流需求。然而，他畢竟仍有銷售考量，是否真的會全面用上這些技術而造成價格上揚？

中央系統採用光纖通訊，這是 F-16E/F 有的，既然以後者為對手，則使用此技術不無可能。

雷達方面，俄國已推出主動相列雷達，據稱探測性能是現有雷達的 2~3 倍；此外早已推出可以環場佈置的 Epaulet 微型相列雷達，並於 2005 年展出其主動版 Epaulet-A。因此在技術上，以被動相列雷達構成環場球形視野早可做到，以主動相列雷達構成半徑更大的環場球形視野則至少具備可行性。然而，目前 Su-35BM 的假想對手並非全都擁有環場雷達視野，且其前視雷達與後視雷達視野在 +120 度及 -70 度，加起來只剩上下半球各約 50 度為死角，這個盲區很容易以微型雷達補上，但是否在成本考量下取消此一略嫌錦上添花的設計？在主動雷達方面，即使量產無困難，但必然造成成本上揚，且潛在對手亦

註⑩ 由於其他國家均無類似 KS-172 之類的超長程空空導彈，故僅有雷達幾乎看不見且速度特快的 F-22 較有機會反制俄國預警機，然而此時 F-22 將可能面臨與 Su-35BM 近戰的可能性。

未全面安裝主動相列雷達（美製戰機屆時大都有，歐系則狀況不明），因此在成本、實用、及進度保證的考量下，估計 Su-35BM 可能不會將主動相列雷達列為必要設備。

雖然俄國具備自適應機翼的技術，但在傳統機翼上這並非必要，且潛在對手似乎尚未應用之，那麼在成本考量下，Su-35BM 會像 Su-33UB 那樣小部分應用自適應技術還是如 Su-47 那樣大量使用，須待後續追蹤。

因此 Su-35BM 最終會改進到什麼程度，應取決於其實際問世的年代、同時期對手技術等級、以及 PAK-FA 發展進度等因素而定。

五、畢竟是 4++ 代

KS-172 的另一個可能的有趣用途，是用來反制全隱形的 F-22。其超長射程幾乎確保任何被熱像儀抓到的戰機類目標都一定在不可逃脫射程內。因此 KS-172 可能可搭配熱像儀對隱形目標進行“不測距射控”（亦即，一旦判定目標為隱形戰機^②，就使用 KS-172 攔截之，過程中不斷以熱像儀的方位資料指引飛彈朝正確方向飛行，直到飛彈尋標器自己看到目標為止 [136]）。這將使 Su-35BM 具備在超視距打擊 F-22 等隱形戰機的“可能性”，儘管這麼做非常不經濟（拿射程 300km 或 400km 的飛彈打擊 100km 左右甚至更近的目標）。除了 KS-172 以外，研發中的 RVV-AE-PD 衝壓空空導彈也將賦予 Su-35BM 類似的能力，唯其射程較短，不能確保隱型目標一定在射程內，故須有測距或估距機制

輔助 [137]。

即使 Su-35BM 以熱像儀搭配 KS-172 有在超視距對抗 F-22 等全隱形戰機的“可能性”，但須注意到：(1)其前提是以熱像儀發現 F-22，熱像儀的最大探測距離成立於窄視界時，故即使熱像儀真能在超視距發現 F-22，此時熱像射控必然是犧牲多目標能力的。(2)熱像儀難免仍受天候影響，因此這種方法之全天候能力堪慮。(3)以 F-22 的探測能力（對 1 平方米目標探距 200km）計算，要將 RCS 降至 0.06 平方米以下才可使 F-22 對其探距降至 100km 以下，這距離已經極可能大於熱像儀對 F-22 的探距因而 F-22 仍應享有先視優勢，而以 Su-35BM 先天外型估計要達到 0.06 平方米級之 RCS 似乎極其困難（降到原來的 1/200），因此保守且合理的估計是 Su-35BM 遇上 F-22 時，“先視”優勢將屬於後者，Su-35BM 在超視距時或許能造成 F-22 的麻煩，但技術上居於劣勢，必須到近距離方能有效對抗 F-22。雖然若引入電漿隱形加上其他仔細的隱形處理（如外型稍為遷就隱形，避開匿蹤大忌），Su-35BM 不無可能達到與 F-22 抗衡所需的 RCS 值，但那將是更大的工程，由於 Su-35BM 只是 PAK-FA 之前的過渡機種，應不至於在“能否全面對抗 F-22”議題上著墨太多。

筆者認為，以俄國已具備之技術條件看，若有必要，Su-35BM 應能與歐洲四代及美製三代半戰機作全面對稱性的技術性能對

註② 例如，將“熱像儀抓到的目標群”扣除“熱像儀看到且雷達也看到的目標群”就得到的集合就極可能為隱形戰機。

抗，甚至有過之。然礙於先天匿蹤設計限制，應難以與 F-22、F-35 進行對稱性的技術對抗。僅能以不對稱的方法拉近差距。畢竟其仍只是 PAK-FA 問世前的過渡機種。

六、對空權均衡的衝擊

相當重要的是，不論 Su-35BM 的隱形性能是否優異到能令其全面勝過歐美最新戰機，其相對於絕大多數飛機的不對稱優勢將可能對空權均衡造成巨大衝擊：依其雷達性能及保守估得知隱形性能（不考慮電漿隱形）估計，其理論上能壓制 RCS=0.1 平方米級目標，或對抗 RCS=0.01 平方米目標，這大致是 F-22 及 F-35 以外之歐美新型戰機已達到或幾年內將達到的最低 RCS 等級。此外，Su-35BM 搭配 KS-172 後，相對於絕大多數已存在飛機將具備壓倒性且不對稱的優勢。故其對使用國週遭的空權均衡將造成極大的衝擊。因此不論其是否能全面壓制或對抗歐美最先進戰機，其影響皆不容忽視。

當然，也因其衝擊性太大，其銷售前是否將引發國際政治爭議？這些政治爭議對其銷售是否產生負面影響？是否引發使用國與其週邊國家之空軍軍備競賽？是否成為與美國在空軍軍售議題及空軍部署上的談判籌碼（如有關 F-35 之出口或 F-22 之部署）？……都是值得後續研究的議題。

上述對軍事安全的衝擊力及“政治影響力”亦是過去的俄係“商業型戰機”（指 Su-30MK 這類外銷創匯的商業取向戰機）所不具備的。例如儘管 Su-30MKK、Su-30MKI 也很優異，但歐美總有與之對應的機種，俄國賣中共 Su-27SK 及 R-27，美國就賣台灣

F-16 及 AIM-7；俄售中共 R-77，美就售台 AIM-120C。雖然 Su-27 系列搭配頭盔瞄準具及 R-73 導彈後在纏鬥領域也具備壓倒性的不對稱優勢因此仍相當具影響力，然此優勢發生於近戰場合，對擁有超視距作戰能力的對手造成之心理壓力有限。而 MiG-31 系列雖亦具有不對稱優勢，然其功能針對性太強，且不具一般使用者需要之性能，不利外銷，不屬於“商業型機種”。

或許正如蘇霍公司總設計師 Simonov 所言，在蘇聯解體後的今天，開發第五代戰機的目的之一，就在維持世界政治力量的均衡”[138]。

七、中共採購的可能

Su-35BM 主要客戶為使用 Su-27、Su-30 系列之國家，如俄羅斯本身、中共、印度、馬來西亞、印尼、越南等，然其屬高檔戰機，前四者才較可能有需要及能力採購之。近來頻傳印度與俄國就五代戰機合作之消息，故印度使用 Su-35BM 的可能性應不低。

配備蘇愷戰機最多的中共是否採購應是許多人關心的問題。這個問題較以往更難答覆，因為目前決定這答案的關鍵已不只是“俄國肯不肯賣”而已。或許難以致信，筆者約於 2003 年在俄國武器進出口總公司 (ROSOBORONEXPORT) 官網 [139] 的 Su-35 介紹文發現極具針對性的廣告，大致上是說 Su-35 擁有強大的制空能力及很長的滯空時間，能“有效掌握如東海、南海等區域之空中優勢”，此新聞側證在這之前俄軍方或廠家所言“對中國銷售 Su-35 甚至其中的 TVC 技術並無問題”。其實隨著中共軍力現代化

到一定程度外加本身國防工業之進步，近年中俄軍售已經走向“俄國肯賣但中共不一定肯買”的地步，中共有時反而喜歡買技術或買次系統來用在自己的產品，而不買成品，例如採購俄式天線、發射機用於自製雷達；投資並採購俄製 9B-1103M-200 主動雷達導引頭及 Vympel 的飛彈尾舵設計用於自己的 PL-12(SD-10)主動雷達導彈上。目前中共對 Su 戰機的採購熱度已退，一般認為與來不及消化有關技術及中共自己進行中的殲十及“背景機”成果漸豐有關。然而筆者認為中共仍極可能採購 Su-35BM 或採購其技術。

雖然近年中共在國防高科技以及航空科技上顯得“捷報頻傳”，過去其戰機之兩大罩門，雷達與發動機，目前均有即將可用或已經可用的國產品出現，連先進的主動相列雷達、TVC 技術也在測試中。但儘管一切都能如此順利進行，筆者認為至少發動機一項將仍是制約中共版第四代戰機能否順利問世的因素。

由近年網路流出的中共新世代戰機想像圖或風洞模型可發現，中共新世代戰機大量引入美系“形狀匿蹤”思想，例如某型殲十的雙發放大版便用了有稜有角的機首造型，其構型雖不若 F-117 那樣誇張，但也不像 F-22、F-35 那樣流線。隱形外型無可避免要與氣動效率衝突，若要予以補償則需仰賴大推力發動機。而目前中共即將付諸使用的最大推力國產發動機為推力 13 噸級的 WS-10A，其至 2005 年都還不能用於量產型戰機，傳聞中推力達 15~16 噸級，推重比達 10 的改型更不知何年問世。即使該 16 噸級

WS-10 問世，也僅與早期 F-22 所用之 F-119 同級，除非屆時中共有什麼特別技術能造出非常輕盈的機體及航電設備，否則以其動力技術即使能將隱形戰機推上天，可能也將落得飛行性能、隱形性能、航電性能與同期外國對手相比均不上不下的尷尬處境。而在對空武器方面，依據網路照片，其新型國產戰機之 PL-12(SD-10)即 PL-8 之配置相當於美系 AIM-120 與 AIM-9 之配置，未見 R-73 這一級別之短程武器，由以上端倪可見，若非故意保密，否則近年中共軍事航空工業似乎是朝與美國對稱的路線在發展。筆者推測，若中共果真採這等對稱方式趕上美國，則真正符合中共需求的全國產第四代戰機應不會太早問世（相對於俄國五代機），採購 Su-35BM 或引入相關技術填補國產四代機與 Su-30MKK 之空缺，並採購俄五代機技術用於國產四代機仍是可能的走向。

以 Su-27SK/UBK 壽限（20 年）計算，中共前幾批 Su-27 系列戰機至 2010 年左右開始將陸續抵達壽限，且其技術水平將難以符合當時的作戰需求。因此在 Su-35BM 投入市場時，中共空軍正需要新機替補。不過也不能斷言中共必定能，且願意購買完整的 Su-35BM（搭配 KS-172）。原因就如前文所言，Su-35BM 加上 KS-172 可能造成的政治爭議。至今，中共任一項軍事建設活動都極易引發所謂“中國威脅論”，即使只是引進 Su-27SK 及 R-27 這種在引進時已經不算最精良的武器來賦予其空軍其所缺乏但周遭國家早就有的超視距戰力，都被冠上窮兵黷武之高帽。那麼一旦其採購 Su-35BM 及 KS-172 這

種真正具備實質衝擊性的武器，西方國家（特別是美國）便更有充分理由宣揚“中國威脅論”以在政治上圍堵中共，同時也更有充分理由對日本、台灣、東南亞等出口先進戰機如 F-35 等。這些狀況自然非中共所樂見。再者，對中共而言，KS-172 這等超長程武器並非必要，而由其採購 Su-30MKK 之過程看來，其軍購態度相當務實（不買 Su-30MKI 上很優異但目前不必要的前翼、向量推力技術，而採購看起來與基本型 Su-27UB 差不多但擁有 4+ 代航電又滿足精確打擊需求的 Su-30MKK）。因此在政治考量下，即使中共屆時真的需要 Su-35BM 這一等級之戰機，其是否一併採購 KS-172 等超長程武器仍待追蹤。

如上所述，美國可能以 F-35 等匿蹤戰機做為抵制 Su-35BM 及 KS-172 出口的籌碼。反言之，Su-35BM 及 KS-172 也可能被俄國用為抵制 F-35 等先進戰機出口之籌碼。以東亞地區為例，筆者推測，即使中共屆時需要 Su-35BM 作為過渡機種，其可能不會取得 KS-172（不是俄國不肯賣就是中共不肯買來自找麻煩）；然一但美國對韓國、日本、台灣、東南亞等出口 F-35 或其本身在東亞部署 F-22，中共就可能取得 KS-172 以茲抗衡。注意這種“抗衡”並非針對 F-35 或 F-22，而是不對稱性的壓制 F-35、F-22 以外的機種，其將使得採購 F-35 的空軍在擁有足夠數量的 F-35 之前，不但不能“享受”F-35 帶來的優勢，反而得面對 Su-35BM 加 KS-172 對其傳統戰機之不對稱衝擊。

八、由 Su-35BM 管窺俄五代戰機

由 Su-35BM 亦可窺見五代戰機 PAK-FA 的性能等級。儘管 Su-35BM 的許多技術條件已直逼五代戰機及 F-22，然這等 4++ 代機與 F-22 仍存在相當顯而易見的差距，即隱形性能、超音速巡航、主動相列雷達。完整版的 PAK-FA 將補足這些“4++ 代機的遺憾”。此外，由本文所列的已知技術資料推敲，完整的 PAK-FA 將至少在推進技術（可變旁通比，大推重比）、環場自主探測系統、武器系統等方面超越現有的 F-22（相當於結合 F-22 的機械性能及 F-35 的電子性能，隱形性能高下則仍未知）。因此目前習慣上以 F-22 作為所有新型戰機性能上限的觀點在日後分析 PAK-FA 時應不再適用，而應將 PAK-FA 視為 F-22 改良型之同級機種。

Su-35BM 在某些新穎的系統如主動相列雷達及 AL-41F2 引擎方面，先以被動相列雷達及改自 AL-31F 的 AL-41F1 暫代。而其他看起來很新穎的先進技術事實上多已分別用於 4+ 代改型戰機或已測試多年，因此其發展步調其實相當保守。於是乎，雖然整個



NPO-Saturn 官網公布的俄五代戰機想像圖

Su-35BM 及 PAK-FA 計畫看似過於緊湊（Su-35BM 計畫始於 2003 年，2007 年初首飛，2009 年投入市場 [140]；PAK-FA 計畫於 2002 年確定由 Sukhoi 公司得標，預計 2012~2015 年投產 [141]），實則有其可能性^{②1}。

結 語

總結新聞資料，Su-35BM 相當於優化其前身的空戰能力而成為在飛行性能、超機動性、武器性能、狀況意識都足與歐美最新機型爭鋒的“戰鬥機”外，增添其對手所欠缺的 MiG-31M 等級（甚至更好）的攔截及指揮能力。不過這等強大的功能究竟是“賦予其壓倒對手的優勢”，還是“減少劣勢”，將取決於其隱形性能提升到何種程度，此一關鍵因素至今無明確數據，故須待持續追蹤。另外無論其能否全面壓制或對抗歐美最新戰機，其對絕大多數已存在之戰機而言擁有壓倒性且不對稱的優勢，對世界空權均衡將可

能造成巨大衝擊，其可能造成的國際政治影響力與政治爭議，待有關專家之研究。

除 Su-35BM 外，其同屬 4++ 代的搭檔，Su-32/34，亦屬獨特的攻擊型機種（具備戰鬥機等級的飛行性能，以及轟炸機等級的座艙環境）。其相對於軍售市場上其他對手的優勢的影響層面，將大大高於之前側衛戰機所標榜的超機動性及近戰功能。這樣的特性是否能在往後十年吸引更多買家，為 PAK-FA 預備潛在客戶，頗值得研究。

再者，筆者研判在中共國產第四代戰機問世之前，應仍需要 Su-35BM 或 PAK-FA 或應用其技術的改型戰機以茲過渡。因此透過對 Su-35 及 PAK-FA 之研析吾人可推測 2010 年左右中共能取得的尖端技術等級。中共與俄方在相關領域的互動以及這些互動對中共航空工業之影響，亦值得持續追蹤。

參考資料

[125] 楊可夫斯基，「從氣動力性能看歐陸下

註②1 軍事觀察者習慣將俄國武器發展與美國對比，因而在與美國同級武器發展週期比對後，認為俄國武器研製週期短得不可思議。這其中一部分原因是俄國武器往往是建立在美國武器的相關情報而發展，因而了不少論證工作。例如 R-77 空空導彈之發展便如是 [142]。另一方面，蘇聯解體後，類似的“新系統研製週期極短”的現象更顯著，此因所謂“新系統”多屬蘇聯時期計畫，至蘇聯解體為止基本研製完成，只因經濟因素無法優化及量產，如 AL-41F 引擎及 Su-35 戰機，將這些已存在但外界不清楚的技術用於改良舊產品，自然讓外界有“俄羅斯瞬間變出新奇產品”的印象，例如 AL-31FP 向量推力發動機及 1996 年的 Su-37 戰機。此外，蘇聯解體後雖無力採購新戰機，但像 Sukhoi 這種因外銷產品而獲利的公司及相關單位仍持續試驗其新技術（如 TVC、雷達等），用於外銷型戰機（如 Su-30MK）及少量自用機（Su-33UB）。這種“發展隨時可用的現成品但一直沒機會用”之現象乃經歷超級強權解體階段的俄羅斯所獨有。因此以西方武器研製週期類比俄國武器並不完全正確。以 PAK-FA 計畫為例，其從 2002 年算起到預計投產（2012~2015）週期約 10~13 年，但若將其所用之系統之研製年份算進去，則其研製週期約 20 年，如此便相當於 F-22 或歐洲四代機。

一代前翼戰機”，尖端科技(2005.1), p74~83。

[126] 同 [125]。

[127] 同 [126]。

[128] "Supermaneuverability", AirFleet, 1.2004

[129] 陳啟順，宋忠毛，「對幾種過失速機動的討論」，國際航空（3.1994），p22~p23。

[130] 楊政衛，「過失速機動能否提升戰機中近程空戰性能」，空軍學術雙月刊，民95年12月。

[131] 楊可夫斯基，「反制F-22可能嗎？另類眼光看21世紀初期歐俄新戰機（上）」，尖端科技，2006年9月。

[132] 楊可夫斯基，「俄國空對空飛彈（下）」，尖端科技。

[133] 蕭雲，「Su-27 側衛家族戰鬥機」，（全球防衛雜誌，1997），p.98。

[134] Michal Fiszer and Jerzy Gruszczyński, "Russia Working on Stealth Plasma", Journal of Electronic Defense (June 2002), <http://www.aeronautics.ru/archive/plasma/>

[135] Nicolai Novichkov, "Russian Scientists Created Revolutionary Low Observability Technologies", ITAR-TASS information agency, (January 20, 1999)(<http://www.air-attack.com/page.php?pid=19>)

[136] 楊可夫斯基，「反制F-22可能嗎？另類眼光看21世紀初期歐俄新戰機（中）」，尖端科技，2006年10月。

[137] 同 [136]。

[138] T.Novgorodskaya, "Interview with Mikhail

Simonov", Science&Life (4.2002), translated by Venik, <http://vayu-sena.tripod.com/interview-simonov1.html>（西蒙諾夫受訪錄）。

[139] <http://www.rusarm.ru/>

[140] "«Компания «СУХОЙ» примет участие в международном авиакосмическом салоне "Farnborough-2006" " (Sukhoi 公司將出席 2006 法茵堡航空展)，Sukhoi 官方網站，2006.7.10, <http://www.sukhoi.org/news/company/?id=688>

[141] Andri Formin, "Mikhail Pogosyan: consolidation efforts is our primary task", AirFleet 4.2003, p24 (Sukhoi 公司總經理 M. Pogosyan 訪談)。

[142] 同 [132]。

作者簡介

楊政衛，筆名楊可夫斯基為尖端科技專欄作家。

