



軍 事 教 育

淺談戰機的過去 、現在與未來

備役少將邢有光、空軍上校張政仁

副教授孫允平、助理教授梁燕祝

壹、前言

1993年美國為了增加空中武力的優勢以取代傳統戰機，提出了聯合攻擊戰機 (Joint Strike Fighter, JSF) 計畫，為了滿足空軍F-22的匿蹤特性以及海軍可以在航空母艦上短場起降的要求，在1996年由洛克希德馬丁 (Lockheed Martin) 和波音 (Boeing) 簽約各自成立製作一架飛機符合所有需求的競爭團隊。隨後英國、加拿大等國家的參與，提供研發經費以及後來加入的預購機隊，其市場不可限量。因此，兩家公司無不卯足勁，想盡辦法為未來的航空市場得到winner take all的獎賞。2001年，拿到獎賞的是洛克希德馬丁，它的X-35最後也成為美國未來戰機F-35的原型機，並獲得不少的國際訂單市場。經過這麼多年，事實證明，航太工業不可能速成，而在科技最尖端的航太工業可以帶動整體市場的開發與經濟的繁榮，本文以JSF的發展為例，希望讀者對於航太工業等科技，能持續有恆地予以支持，畢竟它所帶動的周邊產業以及儀器設備和通訊技術 (例如全球衛星定位系統GPS)，對於人類生活品質的提升，已經到了不可或缺的地步。本文介紹美、英、法、瑞典、歐洲、蘇聯、中共、以及台灣的軍用飛機發展，簡略地介紹其特色，並讓讀者對於這幾十年來戰機發展的趨勢有全盤的瞭解。

貳、軍用飛機科技的歷程

空中飛行器有很多，民航機、軍機、火箭、飛彈、衛星、甚至於熱氣球和飛船，但要談多樣性以及持續性和永久發展，就飛機莫屬。要談論所有飛機的發展，很難一一列述，詹氏年鑑厚厚的一大本，更新的版本一直在累加，關鍵的時刻當然會



提萊特兄弟締造人類飛行的歷史。但是由螺旋槳飛機進升到噴射引擎，開創提升飛行動力性能的新紀元，是來自一九三七年英國瓦立克郡的惠特爾(Whittle)，雖然大戰當時不受英國軍方青睞，但後來在一九四八年因其科技成就而被封為爵士，不難想像他的發明對人類的貢獻。很多科技的發展，是階段性層層地累積，不能中斷而且要持續地支持。軍用飛機的發展，更是尖端科技的展現，本文簡略地介紹國內外軍用飛機的發展，期使讀者在閱讀本文時對於各式各樣空中武力有淺略的瞭解。

一、美國：

F-117夜鷹Nighthawk，如圖一，1983年服役，為美國第一個隱形戰機機隊，單座雙引擎具備匿蹤與地面攻擊能力，在美國入侵巴拿馬(1989年)和波斯灣戰爭(1991年)都有參與，但2006年因為美國國防預算經費削減，被美國國防部退役。



圖一 F-117夜鷹Nighthawk(美國)^[1]

F-15鷹式Eagle，如圖二，1972年首航，它最有名的實例是在1983年，以色列空軍在纏鬥訓練中，發生碰撞。F-15D的右翼只剩最內側的0.6公尺。飛行員沒有聽從教官要求彈射的命令，並且成功地將這架重創的飛機迫降到機場。究其原因，所以能夠成功迫降是因為機尾巨大的水平面積，以及引擎進氣道與機身提供的額外升力^[3]。此型飛機的發展與生產，見證了航太工業提升就業機會的實例，它帶動了美國經濟，例如2013年，沙烏地阿拉伯訂購F-15的數量，足夠支撐



圖二 F-15鷹式Eagle(美國)^[2]



美國五萬就業人數。

F-16戰隼Fighting Falcon，如圖三，1974年首航，通用動力公司所發展。於1993年通用動力公司將他的飛機製造業賣給洛克希德公司，現在為洛克希德馬丁。為西方戰機中產量最多的機種，共4500架，也是全世界第一個具備9G負載操縱的戰鬥機，目前還繼續生產給國外買家。我國購買的型號是AB type，有提升航電系統，但在引擎推力上因為費用太高而沒有提升。在飛行展上看到的美國空軍雷鳥機隊表演，可以讓F-16戰鬥機隊以平均時速400英里的高速，在上下高度相隔僅70cm的距離飛行展示。



圖三 F-16戰隼Fighting Falcon(美國)^[4]



圖四 F-18大黃蜂Hornet(美國)^[5]

F-18大黃蜂Hornet，如圖四，為美國目前海軍最重要機種，它具備航母起降的條件，而且是全美第一架同時具備戰鬥機與攻擊機的機種，於1978年首航，1983年服役，生產1458架。在美國，直升機用印第安那原住民部落命名，而飛機是用動物名稱命名。生產的廠家有麥道/波音/諾斯洛普公司。設計出此戰機的過程，類似JSF，由當時兩大龍頭通用動力和麥道競爭，最後麥道因為找到具備航空母艦製造經驗的諾斯洛普合作而得標。但隨著時間的演進，麥道和諾斯洛普各自生產一型以區分市場，但當外銷市場因為美國軍方採用的是麥道生產的艦載機而欣欣向榮時，毫無商機可言的陸上基本款讓諾斯洛普和



麥道對薄公堂。1993年麥道參與JSF競標案，但它在第一回合敗給波音和洛克希德馬丁後，就面臨倒閉的問題，於1997年賣給了想要進入軍機市場的波音。

F-22猛禽Raptor，如圖五，為單座雙引擎匿蹤戰鬥機，不需要後燃器就可以超音速巡航，可以視距外作戰、高機動性、對雷達和紅外線具匿蹤功能。匿蹤的發明，來自俄羅斯的應用數學家，他發現要隱形不在於飛機的大小，而在於反射雷達波的角度，所謂的隱形，不是在於人的肉眼，而是雷達上偵測不易，此飛機隱形的另一個方式在於表面塗層技術，讓特殊塗層吸收雷達波達到隱形。F-22由波音和洛



圖五 F-22猛禽Raptor(美國)^[6]



圖六 F-35Lightning II(美國)^[7]

克希德馬丁共同生產。它的生產歷程處在一個變化多端的時代，因為飛機製造成本太高(投入800億美元，共生產約200架，因此每架成本約4億美元)、俄羅斯和大陸新戰機計畫延遲導致對敵方的作戰任務不明確、還有F-22禁止出口、再加上後來的F-35計畫執行與無人飛機市場的吸引力，都迫使F-22生產計畫停止。於2005年服役，2011年12月最後一架上線，共生產約200架。

F-35閃電II Lightning II，如圖六，為洛克希德馬丁公司生產的單座單引擎匿蹤攻擊戰鬥機，為聯合打擊戰鬥機(JSF)計畫中競賽得主X-35，開發出



來的美國最新攻擊戰鬥機，因為聯合多國一起開發與經費投入，所以問題比較多，任務多重，利用複合材料的質輕且可承受高負載特性，設計成A、B、C三款，A傳統跑道起降、B短距離起降或垂直起降機種、C航空母艦艦載機。2006首航，2016年將進行服役，目前初期生產100架供訓練用，主要使用者：美國空軍/海軍/海軍陸戰隊、英國皇家海軍/空軍、澳洲皇家空軍。複合材料的設計，促成飛機性能的提升，因為重量減少其推力就可以降低，推力減少則燃油攜帶量可降低，同時航程就可以擴大，這都是連鎖反應，也因此不論軍用或民航飛機都戮力朝此方向發展。

Cross talk技術提升戰機的通訊：在過去，傳統型的第四代飛機F-15、F-16、F-18的雷達通訊性能差，一直無法達成交互傳遞無擾頻的狀態，即使是F-22的新戰機也是設計成只與F-22通訊，這是為了減少洩蹤與保持點對點對接的秘密行動。但是因為F-22只有約200架服役的情況下，它必須與2016即將服役的F-35和舊式的F-15、F-16和F-18進行通訊，才可能增強其作戰範圍。2013年12月Lockheed Martin，進行了8小時飛行的測試，提出Link 16傳輸功能組，利用F-22飛機、波音B737飛行實驗室測試F-35的CATbird(Cooperative Avionics Testbed)航電測試台軟體。假如預算不是問題，年底Link 16將派上用場。它直接將F-22或F-35彼此間的通訊技術，交互傳達到傳統型飛機上，所以透過F-22或F-35的轉接，在作戰時，傳統型飛機可以在第一時間馬上藉由Link 16系統辨識敵我，達到迅速傳遞資訊的功能。雖然尚未證實是否應用在B-2和無人飛機上，但未來它應該會廣泛應用在需要降低無線電通訊以進行秘密任務的飛機上，此專案被任命為”密蘇里計畫”^[8]，show me，MS。

二、英國：

鷄式Harrier戰鬥機，如圖七，是從1969年起為英國皇家海軍服役的飛機，此為次音速飛機，設計用來在機場跑道遭破壞後，可以在馬路、停車場或空曠地起降（包括航母）。但2010年後，因為JSF案成功發展的F-35陸續售



圖七 鷄式戰鬥機Harrier (英國)^[9]



予英國和義大利，導致可能退役的傳聞不斷，2011年底英國國防部終於宣佈72架鷄式戰鬥機賣給美國海軍陸戰隊。

三、法國：

颶風Rafale戰鬥機為法國達梭公司研發製造的產品，約與我國發展IDF同期，如圖八，其進氣道設計和IDF類似。1986年首航但是到2000年才服役，而且訂單量也很少，到2014年1月止總共才126架。完成一架飛機最重要的是要進行功能測試，達梭公司沒有自己的地面測試設備，飛機測試是在美國紐澤西的Lakehurst海軍防空站進行。



圖八 颶風戰鬥機Rafale(法國)^[10]



圖九 幻象戰機(法國)^[11]

法國：幻象Mirage戰機為法國達梭公司研發製造的產品，如圖九，1978年首航，1982年服役、2007年停止生產，總共生產601架。直到颶風戰鬥機出產後，幻象機就開始停產。幻象2000C的最佳空戰武器RDI雷達搜索距離可延伸到150公里，除了攔截機功能外，法國空軍後來也對旗下機隊雷達的對地功能升級，增加非共同目標辨識(Non-Cooperative Target Recognition)模式。早期使用功能稍遜的RDM雷達，但台灣的幻象2000-5是最早裝更新型RDY雷達的機隊。

四、瑞典：

Saab公司生產的獅鷲Gripen戰鬥機JAS-39，如圖十，1988年首航，1996年服役，目前共295架，JAS取名Jakt(對空戰鬥)Attack(對地攻擊)Spanning(



偵察)的意思，所以它是多用途多功能的戰機，有1/4的結構是複合材料，機體輕而且線傳飛控(fly-by-wire)飛行。它和臺灣的IDF機隊同時研發，目前為止仍然在進行提升計畫加強服役戰鬥力。

五、歐洲：

歐洲國家聯合開發：颱風Typhoon戰鬥機，由歐洲戰機公司(英法義德西)聯合開發之多功能戰鬥機，如圖十一，但因為飛機設計的任務導向和選用引擎的歧見，讓整個計劃耗費很多時間，1994年首航，2003年服役。粗估生產量有710架。主要服役英國皇家空軍、德國空軍、以色列空軍、



圖十 獅鷲戰鬥機Gripen(瑞典)^[12]



圖十一 颱風戰鬥機(歐洲國家聯合開發)^[13]

西班牙空軍。目前生產400架，訂單571架。具備雙引擎，Canard(前水平尾翼)之三角翼設計，有優異的空對地攻擊力以及空中防禦功能，在2011年利比亞戰爭中展示過其實力。它對於西班牙的航空工業發展有很大的助益，同樣的因為供應鏈市場的擴展，也帶動了巴西的航空工業。

歐洲和美式飛機設計的不同：在氣動力上，法文Canard的意思是鴨子，它是指固定翼飛機的水平翼位在飛機的主翼前方，它可以產生較多的升力，和傳統的飛機設計在尾翼的方式剛好相反，如圖十二，瑞典生產的飛機Gripen 39與美國F-16可以看出明顯的差異。

六、蘇聯：



蘇聯時代，烏克蘭是巨大的航太工業中心，但蘇聯瓦解後，俄羅斯念念不忘的是曾經的輝煌時期，普亭有意再建俄羅斯航太工業王朝。所以他在任時，下令建立United Aircraft Company以實現夢想，但烏克蘭和歐洲間的曖昧關係，以及國際情勢的不穩定，都是未來這個航太工業王朝可不可以重現的隱憂。



美式與歐世戰機外型有何不同？

圖十二 歐洲和美式飛機設計的不同

米格29戰鬥機，如圖十三，由俄國Mikoyan公司生產，共生產1600架以上，當初設計此架飛機的需求是高航程、高武裝、機動敏捷性、一般短場跑道就可起飛、還要極速的飛機，當然這樣的需求造成造價昂貴，所以後來有分成重型和輕型兩種，以區隔價位。



圖十三 米格29戰鬥機(蘇聯)^[14]

米格31戰鬥機，如圖十四，也是由俄國Mikoyan公司生產，共生產約500架，是目前世界上飛的最快的飛機，所以具備超巨大推力的動力系統，可以讓飛機進行超音速巡航，但因為飛機龐大，阻力大所以油耗率極高。反之，其巨大的內裝尺寸，直到現在都可以容納不同功能的改裝。記錄顯示其低空速度可達1.23馬赫極速，高空可以達2.83馬赫，以設計的推重比計算，理論上可達3馬赫，但是在此高速下機身可能解體。從這些飛機的設計看來，蘇聯的飛機和



歐美的飛機比較起來，是特別的生猛。

蘇愷27戰鬥機，如圖十五，由俄國Sukhoi公司生產，共生產680架，是設計來對抗F-15的戰機，以重武裝、長程飛行、高靈敏操控性為主要需求。此架飛機的特色是，它的cross section area，在腰的部分，細到幾乎感覺要斷了一般。



圖十四 米格31戰鬥機(蘇聯)^[15]

蘇愷30戰鬥機，如圖十六，由俄國Sukhoi公司生產，為了設計比蘇愷27更遠的航程所生產的機隊，可以空中加油。此機型輸入到印度157架打破了亞洲地區空戰武力的平衡。



圖十五 蘇愷27戰鬥機(蘇聯)^[16]

蘇愷34戰鬥機，如圖十七，由俄國Sukhoi公司發展自蘇愷27的新機型，1990年首飛，2007年服役，目前生產32架，到2015年將增至百架。為了並列雙座而加大機頭，但為減少氣動力阻力只好把機頭設計成扁平，所以北約國家都稱其鴨嘴獸。為何從首飛到服役耗費這麼長的時間？相較於法國的颶風戰機14年，蘇愷34戰機8年算正常，但此機型生產過程因為1991年蘇聯解體，造成的動盪以及資金不足，直到2007年俄羅斯國防部才正式接收蘇愷34。從此機型的發展觀察，到此階段，飛機的外型已經很smooth，相較於米格系列的生猛，這時候的飛機外型已經很漂亮了。

蘇愷35戰鬥機，如圖十八，由俄國Sukhoi公司發展自蘇愷27的新機型，



預計生產74架，到2014年2月有34架在役。蘇愷35比Su-27、Su-30、Su-33具備更大的推力與機翼，也為了減輕重量更多的碳纖維複合材料與鋁鋁合金設計機身，同時它具備二維向量推力系統。中共購買蘇愷35飛機的主要目的是為了獲得發動機技術，雖然發動機技術沒有簽署技術轉移的協議，但稍後介紹的中共飛機，近十年來的迅速發展，是很不容易的成就。

七、大陸軍機發展：

殲十戰鬥機，如圖十九，1986年開始設計研製，1994年開始建造，歷經12年在1998年首航，2003年服役，由成都飛機工業集團製造，生產量350架，2008年汶川大地震時，新聞上一直以為會影響其基地的飛機生產製造，但是據新聞報導兩天後開始恢復有限度地生產，五天後就進行全面復工^[21]。由圖十九觀之，



圖十六 蘇愷30戰鬥機(蘇聯)^[17]



圖十七 蘇愷34戰鬥機(蘇聯)^[18]



圖十八 蘇愷35戰鬥機(蘇聯)^[19]



J-10的Gutter(進氣道和機身之間的區域)設計還有改善的空間：Gutter的設計是為了要讓低能量的氣體不經由進氣道，而是流入Gutter，假如進氣道設計太低，地面的髒空氣會匯入，但是如果太高造成Gutter太小，阻力就會增加，所以這是最佳化設計的問題。



圖十九 殲-10戰鬥機(中國)^[20]

殲-11戰鬥機，如圖二十，1989年蘇聯中央總書記戈巴契夫訪問北京之賀禮，來自授權生產蘇愷27的戰鬥機型。為多用途重型戰鬥機，由瀋陽飛機公司製造，主要由蘇聯提供主零件與系統，培植生產與組裝能力，在1998年首航，同年服役，生產量280架。



圖二十 殲-11戰鬥機(中國)^[22]

殲-18戰鬥機，如圖二十一，由瀋陽飛機公司製造，是中共第一架垂直起降的隱形飛機，雖然美國或多方媒體都有報導，網路討論的文章極多，也有試飛的影片可以看到，但中共軍方從未承認。

殲-16戰鬥機，如圖二十二，也是由瀋陽飛機公司製造，是仿蘇愷30的機種，服役於中國海軍航空兵，研發製作時間和生產數據都是未知，2013年被目擊在吉林沙漠區進行測試，俄國和加拿大都有報導24架殲-16戰鬥機已經下



線裝備海航。

殲-20與F-22戰鬥機，這是熱門的探討問題，一架完全多功能的戰鬥機，既要垂直起降又要攻擊型重武力、還要匿蹤、遠航程、纏鬥高靈敏控制性與超音速飛行，產生的結果就是造價高昂養不起，不然就是針對不同的重要需求進行A型、B型、C型等的改裝。美國《國際防務科技》雜誌認為，既是戰鬥機又是轟炸機的殲-20存在技術缺陷。因為要符合大載彈量和大載油量，在超音速巡航和機動性就不如F-22，其空戰能力會受到限制。同時在材料方面：隱形的設計、塗料、以及雷達吸波能力，和電裝部分的電子設備都還沒趕上美國技術。資料來源：參考文獻 [25]。

殲-31戰鬥機，如圖二十三，由瀋陽飛機公司製造，預計2019年後服役，於2012年首航，已經至少生產兩架在測試中，是單座雙發動機匿蹤攻擊戰鬥機，因為雙前輪起落架設計而推判是航空母艦起降的需求，中共此款



圖二十一 殲-18戰鬥機(中國) [23]



圖二十二 殲-16戰鬥機(中國) [24]



圖二十三 殲-31戰鬥機(中國) [26]



飛機的生產，奠定了繼美國之後，超越俄羅斯，第二位具備研究製造超過一種五代隱形戰機的國家。

人類研發第一架火箭到第一次登陸月球，共歷經25年。中共能夠在這麼短的時間內，成就短場起降(圖二十四：殲-15在遼寧號起降畫面)、匿蹤、垂直起降等高武力戰機，是不容易的成就，固然他們是站在美俄多數科學家的肩膀上突破成果，但是持續而充沛的經濟支持，以及永續地培植現有人才是真正成功的主因。從過去全力網羅被美國滯留5年的錢學森，以及來自台灣高雄在日本獲得航太博士最後到大陸幫忙解決火箭彈頭超音速問題的錢福星，成立多所航天學院，到現在，太空發展專案負責人都四十歲出頭，這是有計畫地培育新人才的發展。



圖二十四 殲-15在遼寧號起降(中國)^[27]



圖二十五 AT-3自強號戰機(中華民國)^[28]

八、我國軍機發展：

中華民國臺灣：臺灣航空工業之重要里程碑是由國人自行研發的噴射教練機，AT-3自強號戰機(圖二十五)開始。由航發中心(漢翔前身)與美國Northrop公司初期進行合作研發，到最後由航發中心獨立完成。於1980年首航，1984年服役，共生產63架，最後一架為1990年生產。這是我們邁向航太工業國際化的起步，但在很多因素下，台灣沒辦法把AT-3量產賣給國外買家。在國內



，最常看到的就是各個軍機場展示的雷虎表演。經國號戰機（圖二十六）是漢翔公司在美國技術協助下設計、開發、製造。通常一架飛機花7~8年的時間設計，從試飛、調整、到生產，是漫長的里程。經國號1989年首航，1994年服役，R/D經費共450億台幣，它奠定了臺灣航空工業之基礎。IDF取名自Indigenous(本土)Defensive(防禦)Fighter(戰機)，主要強調其自製性，是為了取代之前空軍逐漸老化的F-5戰機而建置，此輕型超音速噴射戰鬥機負責中低空防禦，同時配合購進的法國幻影2000-5和美製

F16-A/B成為這幾年空軍的主要空中主力。

經國號戰機設計的特色是：(1)線傳飛控飛行(fly-by-wire)：具備三重設計(Triple Redundancy)功能。眾所周知，產品設計的可靠度來自於產品最重要的部分具備多重的備份設計，線傳飛控飛行可以讓飛行員迅速且輕鬆地操作一架飛機，但是這麼重要的控制翼面操縱沒有多重設計，會是可靠度低的產品。(2)失效-安全(Fail-Safe)：此設計觀念是當功能失效時，馬上轉入安全備份件的設計，不論重要的結構或主系統都有縝密的安全設計。例如飛機主翼具備五大樑設計，同時有偵測監控，以預防失效。(3)人機界面(Pilot-Vehicle-Interface)：配合人體工程，採取機隨人意設計，讓操控更方便。



圖二十六 IDF經國號戰機(中華民國)^[29]



圖二十七 NASA「超音速緣能飛行器」^[30]



參、結論

NASA預計2030年研發出「超音速綠能飛行器」，由洛克希德·馬丁公司設計(如圖二十七所示)，利用外型的设计以及引擎裝置所載的位置，減少超音速震波產生，以降低噪音。過去在協和號的年代，超音速飛機產生的噪音一直無法通過環保的要求，所以美國聯邦航空總署(FAA)也無法核准通過美國內陸，此款設計利用引擎在機翼上方(如圖二十七)，讓產生的噪音不會往下打到地面，不知未來實際研發出來產生的效應有多高，但至少在未來的環保議題上有大躍進的表現。同時對於未來戰機的發展，作者在此提出下列四項供讀者參考。(1)新材料的發展(Composite materials)，不一定是纖維主體的複合材料，金屬/特殊功能(導電、透光、阻尼、耐摩擦、抗震、耐撞擊、耐腐蝕等都可以研發)。(2)更多電裝設備(More Electricity Airplanes)，B787已經利用電裝設備取代更多液壓系統，雖然初期還有些問題，但是這趨勢已經是形成。(3)向量噴嘴(Vector Nozzle)，如何穩定地切換向量噴嘴角度，讓飛行時由水平移動轉換成垂直起降更為順暢，這是未來還可以發展的空間。(4)隱形技術提升(Enhanced Stealth Technology)，為了因應隱形設計，更多功能的偵測設備已經出爐，例如量子雷達的產生，所以，相對應地，隱形技術要更多元，或是塗料塗層上多進化。

肆、參考文獻

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_F-117_Nighthawk
- [2] <http://www.boeing.com/defense-space/military/f15/f-15k/19991216f15f.htm>
- [3] <http://zh.wikipedia.org/wiki/F-15%E9%B7%B9%E5%BC%8F%E6%88%B0%E9%AC%A5%E6%A9%9F>
- [4] <http://www.diecastaircraftforum.com/military-model-aircraft/105672-hm-f-16-would-you-like-see-made.html>
- [5] <http://www.learning-to-fly.com/airplane-pictures-page4.html>
- [6] <http://www.wallpapergate.com/wallpaper11021.html>
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/File:F35A_Prototyp_AA1_3.jpg
- [8] A. Butler, "Cross Talk: Secret Lockheed Martin demo is a step toward fixing F-22 and F-35 communications problem", Aviation week & Space technology, 2014, March 3, pp.24-25.
- [9] <http://www.theguardian.com/uk/2011/nov/24/harrier-jump-jets-sold-marines>
- [10] http://www.worldwide-military.com/Military%20Aircraft/EU%20Fighters/Rafale_EN.htm
- [11] <http://www.worldwide-military.com/Military%20Aircraft/EU%20Fighters%20plaatjes/Grote%20foto%27s/Mirage%202000%205F.jpg>
- [12] <http://minhpeter.blogspot.tw/2011/04/saab-jas-39-gripen.html>
- [13] http://www.worldwide-military.com/Military%20Aircraft/EU%20Fighters%20plaatjes/Grote%20foto%27s/Eurofighter%20Typhoon_12.JPG
- [14] <http://reflectionsofcoldwar.blogspot.tw/2012/07/east-german-luftstreitkrafte-majors.html>
- [15] <http://www.airliners.net/photo/Russia---Air/Mikoyan-Gurevich-MiG-31.../2226193/L/&sid=32b365d9ea7f00361bfe493ddf0e4801>



- [16]http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Su-27_Russian_Knights_04.jpg
- [17]http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8d/Su-30SM_Russian_Air_Force.jpg
- [18]http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d5/Sukhoi_Su-34_in_2012_%282%29.jpg
- [19]<http://forums.spacebattles.com/threads/vvs-gets-its-christmas-gifts-early-su-35s.243490/>
- [20]<http://gb.cri.cn/18824/2008/06/03/107@2083049.htm>
- [21]<http://hk.crntt.com/doc/1006/6/3/1/100663197.html?coluid=7&kindid=0&docid=100663197>
- [22]http://big5.china.com/zh_cn/etc/endpage/showPic.html?http://big5.china.com/gate/big5/images2.china.com/mili/zh_cn/important/64/20121203/17559964_2012120309142069155700.jpg
- [23]http://bbs.tiexue.net/post_5517329_1.html
- [24]<http://he.people.com.cn/BIG5/n/2014/0219/c192235-20602884-5.html>
- [25]<https://www.youtube.com/watch?v=lpJbhxzMf4s>
- [26]<http://big5.qianzhan.com/military/detail/280/130717-bd06dfa5.html>
- [27]<http://image.club.china.com/twhb/1013/2012/11/25/1353801483349.jpg>
- [28]<http://www.twwiki.com/wiki/%E5%8F%B0%E7%81%A3AT-3%E6%95%99%E7%B7%B4%E6%A9%9F>
- [29]http://news.xinhuanet.com/mil/2009-12/09/xinsrc_04212060913300622031817.jpg
- [30]<http://smartablenews.com/bg/persons/nasa-supersonic-science-aims-to-shush-sonic-booms>

作者簡介

空軍備役少將 邢有光

學歷：空軍官校48期、美國科羅拉多大學航太博士，經歷：漢翔航空工業股份有限公司董事長、台灣苯乙烯工業股份有限公司總經理、亞洲航空公司副總經理、經國號戰機(IDF)總工程師、中科院航空研究所副所長、1993美國科羅拉多大學傑出工程校友獎。

副教授 孫允平

學歷：國立成功大學航空太空工程研究所博士，現職：正修科技大學機械系副教授。

空軍上校 張政仁

學歷：空軍官校79年班、國立成功大學航空太空工程研究所博士，現職：空軍官校一般教學部部主任/航太系副教授。

助理教授 梁燕祝

學歷：國立成功大學航空太空工程研究所博士，現職：空軍官校航太系助理教授。