

軍工科普

“戰鷹”如何進行“呼吸”



人類生命活動離不開呼吸，戰機飛行同樣也離不開“呼吸”。如果戰機“吸入”空氣不足，就會導致“缺氧”，出現動力減弱甚至失速現象，而“呼氣量”又直接影響到戰機推力大小。

戰機要想“呼吸順暢”，進氣道和尾噴管的设计十分关键。早期噴氣式戰機空氣吸入量有限，科研人員在设计進氣道時，選擇的是結構簡單、空間利用率高、機首進氣方式。

20世紀60年代開始，戰機雷達得到普遍運用，超視距作戰成為空戰主流。科研人員發現，大直徑雷達只有安裝在機首才能充分發揮作用，給雷達“騰地方”成為他們亟需解決的難題。歷經10餘年發展，雷達整流罩將機首進氣道位置取代，科研人員根據戰機的基本設計要求，將進氣道位置轉移至機翼、機腹、機背等位置，提升了戰機機動性。

隨著超音速戰機誕生，對空氣吸入量提出了更高要求，科研人員開始攻克一項新的技術難題——如何保證戰機在超音速和亞音速狀態均能“呼吸順暢”？

減速增壓理念的誕生拉直了這個問題。科研人員研製出可調式進氣道，對吸入氣流進行控制，使戰機在超音速和亞音速條件下均能“呼吸順暢”。在设计尾噴管時，他們充分考慮噴氣量對戰機飛行速度的影響，採用類似“吹風機”的收斂型管道對高壓燃氣進行加速。

然而，面對高性能發動機時，收斂型管道有些“力不從心”——難以將燃燒室噴出的高壓氣體提升至超音速，直接導致發動機推力損失近20%。

為此，科研人員研製出“收斂-擴張”尾噴管，對氣體進行進一步壓縮，提升戰機“呼氣量”。

近年來，科研人員研製出新式矢量尾噴管，不僅可以根據氣流速度調節噴管擴張比，還能根據戰機機動性需要旋轉尾噴管產生不同方向的加速度。美國“鷓鴣”式戰機、美國F-35B都裝備了矢量尾噴管，可以實現短距起降功能。

上圖：蘇-35戰機裝配兩側進氣道與矢量尾噴管。資料照片

座艙如何保持氣密性



電影《中國機長》有這樣一幅畫面：座艙破裂瞬間，機組副機長半個身子被“吸出”窗外，讓觀眾捏了一把汗。有人會問：座艙破裂為何飛行員會被“吸出”窗外呢？

這要從飛機座艙氣密性設計說起。飛機飛行高度通常在8000米左右，大氣含氧量僅為地面的30%，溫度達到-30℃，堪稱“生命禁區”。一旦暴露在這種環境中，會出現嚴重不良反應。

為此，科研人員將座艙設計為密閉空間，通過空氣增壓裝置為艙內人員提供必需的氧氣和適宜的溫度，保證座艙環境安全舒適。

然而，飛機在高速飛行時，一旦發生座艙破裂，外界高速氣流形成的低壓區會瞬間將艙內人員“吸出”窗外。

因此，在飛機製造過程中，科研人員採用特殊的工藝方法加固飛機結構，降低漏氣風險。一方面，採取鉚接方式對飛機進行加固。相比焊接，鉚接方式具有更能抗沖擊載荷、不易鬆動、連接強度好等優點。另一方面，塗抹密封膠對連接處縫隙進行隔絕。在部件裝配完畢後，技術人員使用專門設備對飛機結構漏氣情況進行檢查，再對漏氣部位塗抹密封膠，保證連接處具有良好的氣密性和防腐性。

相對於民用客機，對軍用飛機座艙氣密性進行設計時，還有一些特殊要求。我們知道，軍用飛機機動性強，在進行大機動動作時，內外壓強會瞬間增大，一旦發生座艙漏氣，會引起駕駛員生理上的強烈不適。這就要求座艙內外的壓強差必須保持在一個適度區間，相當於一個“緩沖墊”，讓飛行員有良好的適應過程。

此外，軍用飛機飛行員需要通過穿著抗荷服並佩戴氧氣面罩來維持身體內外壓強差。在作戰過程中，即便出現座艙破損情況，也能維持一定戰鬥力。

上圖：“陣風”戰機飛行員在密閉座艙中執行高空飛行任務。資料照片（齊昇榮、趙思源、尚汐撰撰文）

五代機的發展歷程，伴隨的不僅是世人對“史上最昂貴戰鬥機”性能的種種疑問，還有夢想擠進“五代機俱樂部”後來者的前赴後繼。前不久，印度也加入到五代機研發的梯隊中——在2022年印度防務展上，印度斯坦航空公司公開展示了五代機AMCA的最新模型。

事實上，早在2001年，印度就提出了五代機研

計劃。然而直到2022年3月，印度斯坦航空公司才舉行了五代機AMCA首個部件開工儀式，預示著五代機項目進入原型機製造階段。印度雖然對國產五代機有長達20多年的逐夢之旅，但從該國“光輝”戰機從概念提出到服役歷經30多年仍然難放光輝的歷程來看，五代機AMCA要想實現製造、試飛、量產、服役等全系列過程，恐怕是一項十分艱難的任務。

先進戰機製造，是對一個國家綜合實力的全面檢驗。從設計理念到技術人才，從合成材料到微電子，從鈦合金部件到芯片，從發動機到基礎電子元器件，無論哪個細微環節出現短板弱項，戰機研發都可能功虧一簣。對於基礎差、底子薄的印度航空工業來說，要想把五代機AMCA從模型變為真正飛上天的戰機，路依然漫長。

印度自研五代機AMCA——

夢想與現實的距离有多远

■王笑夢

軍工T型台

五代機研製進程緩慢，是否重蹈“光輝”覆轍

1997年9月7日，世界上第一款量產五代機F-22“猛禽”成功首飛，標誌著五代機時代到來。

沒過多久，印度空軍與航空工業界對隱身戰鬥機研發進行討論，提出研製具有同等戰鬥力的新型戰鬥機。2001年，代號為“MCA先進中型戰鬥機”的預研項目正式啟動，並展示出設計效果圖——外形酷似雙發版LCA“光輝”戰機，採用無垂尾設計以減少雷達反射面積。

然而，印度空軍並不看好這個項目，迫切希望與俄羅斯共同研製T-50隱身戰鬥機（蘇-57原型機），軍方的朝三暮四讓MCA研發停滯不前，直到俄印分道揚鑣，他們才要求重啟自研五代機項目。

為此，2008年，印度航空發展局起草了一份詳細工程報告，並在2年後將預研的MCA項目升級為AMCA項目，生產一款雙引擎中型隱身全天候多用途戰鬥機。沒過多久，印度航空發展局一名高官宣布，將為AMCA項目撥款20億美元，開發2架技術驗證機和7架原型機，於2017年前首飛。

雖然印度生產過蘇-30MKI、米格-29UPG等戰機，但其本身缺乏最為基礎的飛機設計經驗和完善的型號發展過程。對於基礎差、底子薄的印度航空工業來說，研製五代機無疑是一個巨大挑戰。

追溯印度戰機研發歷史，一切有迹可尋。早年印度國產“風神”戰鬥機，主要來自於德國設計師庫爾特·譚克之手，對印度航空工業戰機研發能力沒有帶來質的變化。當印度提出研製LCA“光輝”戰機時，由於材料、結構、電子、動力、工藝和系統綜合等方面技術短缺，導致項目研發周期持續延長。量產後的LCA“光輝”戰機國產化率依然很低，發動機、雷達、航電等關鍵設備都不得不採取外購。

雖然印度在購買引進西方和俄羅斯先進航空技術和成品方面具有較大便利，但“買買買”的快捷方式並不會提升印度航空工業水平，也難以打造出合格的技术研發團隊，最終導致印度航空工業始終在低水平徘徊。

世界其他國家的成功經驗證明，研製五代機是一個極其複雜的航空系統工程，並不是畫圖紙、造個模型。在國際航空市場上買些部件就能攢出來的。當問題纏身的印度航空工業開始發展五代機時，放大效應將比研發LCA“光輝”戰機更加明顯，項目管理效能低下、經費使用不當、進度嚴重延誤、科研人員流失……這些在LCA項目中出現的問題，同樣在AMCA項目中顯現，導致最初預定的2017年首飛時間節點一拖再拖，整個項目再度出現LCA“光輝”戰機研製時的“重慶拖症”。



“借雞生蛋”為項目研發提速，從長遠來看必然受制於人

眾所周知，航空工業是高科技產業，每一代戰機數字上的跨越意味著性能的成倍提升。相比四代機，五代機具有隱形、超音速巡航能力、超機動能力、超級信息優勢等方面優點，可以有效躲避敵方雷達，突入其領空對戰略目標進行降維打擊。

面對如此巨大的戰場優勢預期，在退出俄印聯合研發五代機計劃後，印度空軍下令航空工業必須實現國產五代機AMCA項目，在“定義”戰機技術方面擁有“完全控制權”。對於印度航空工業來說，這種要求可謂苛刻，這意味著他們必須攻克五代機所有技術難關。

早期，五代機AMCA項目是由印度國防部國防研究與發展組織旗下的航空發展局和印度斯坦航空公司共同負責，後者是印度國防部下屬國營企業。印度航空工業體系最大的特點是研、產分立——先由航空發展局開發和驗證相關技術，並將其工程化，再將相關設計和技術工藝轉交給印度斯坦航空公司，協同完成型號研製和使用試飛，並由後者進行批量生產和後續維護升級。

鑒於五代機AMCA項目研製難度極大，印度改變了過去政府主導模式，採用更加開放的公私合營方式，以吸引更多資金和技術投入到五代機AMCA項目中來。印度允許本土私人資本100%投資國防工業，國防領域的外國直接投資比例也超過了26%。比如，印度塔塔集團成立了主防務裝備的塔塔先進系統公司，並在美國波音公司授權下為AH-64E“阿帕奇”武裝直升機生產機身，

借此積累了一定的航空裝備製造能力。同樣屬於私營企業的印度拉森特博洛公司是俄印聯合研製“布拉莫斯”導彈的印方生產商。有媒體報道，目前共有超過140家公司參與到五代機AMCA項目中來，除了印度塔塔先進系統公司、拉森特博洛公司外，還包括實業國防與航空航天公司、戈德瑞吉航空航天公司和拉克希米機械公司等印度私營企業。

為了進一步給五代機AMCA項目研製提速，2020年9月，印度正式提高了外國投資其國防領域的上限，將外國直接投資國防領域的限制從當地公司股本的49%提高到74%。顯而易見，這種改變會直接影響到印度航空工業的主導權，導致印度本土國防企業與外國投資企業深深地捆綁在一起，在裝備研發、技術使用、項目推進等方面必然會受制於人。

“借雞生蛋”——用別人的錢和技術來提升自身國防力量，看起來很美好，從長遠來看必然受制於人。

技術層面面臨多重挑戰，未來前景仍存諸多變數

從現有技術儲備來看，僅憑印度一己之力研製五代機難度很大。20多年五代機逐夢之旅，印度走得格外艱難。從提出各種不切實際的方案，到外形仿制F-22戰機……這期間印度沒有生成過可靠方案。直到2022年3月，印度斯坦航空公司舉行了五代機AMCA首個部件開工儀式，預示著五代機項目進入原型機製造階段。

不過，就先進戰機研發而言，原型機製造僅是開始，要想造出性能優異且能夠實戰的五代機，仍有諸多難題需要攻克：

一是隱身塗層技術依然薄弱。作為隱身戰機，雖然AMCA在氣動佈局上採用了類似F-22戰機的設計，具有一定外形隱身能力，但隱身塗層技術依然薄弱。印度曾寄希望通過從法國購買“陣風”戰機上獲得雷達吸波材料技術，但目前尚未實現。

此外，與隱身材料息息相關的還有製造工藝問題。隱身材料極其敏感脆弱，加工戰機蒙皮需要很高的工藝水平。目前，印度斯坦航空公司正在製造的LCA“光輝”戰機已經出現蒙皮公差太大的工藝問題。對於AMCA來說，一個突出的螺絲或一個不匹配的蒙皮翹起，都會導致隱身性能遭受破壞，是否具備高質量的五代機製造工藝，對印度斯坦航空公司的總裝車間是一次嚴峻的考驗。

二是源相控陣雷達技術存在短板。有消息稱，五代機AMCA將採用印度國產源相控陣雷達。自2012年以來，印度電子和雷達開發機構一直在研究源相控陣雷達，用時10年之久勉強研發出國產新型雷達原型機，近期才搭載在LCA“光輝”戰機上開展測試。受制於國產雷達研製進度緩慢，早期服役的LCA“光輝”戰機只能使用以色列舊式脈沖多普勒雷達應急，而後批次的LCA“光輝”戰機換裝的也是從以色列引進的源相控陣雷達。國產機載雷達能否研製成功還尚無定論。

從供給側角度看，制約印度國產源相控陣雷達製造的關鍵是氮化鎵的生產。源相控陣雷達使用的是氮化鎵晶體管TR組件，2017年印度專門批准規劃，投資數億美元建設一座生產氮化鎵的工廠，但直到2020年技術方案才得到初步批准，用於國產源相控陣雷達生產的氮化鎵晶體管TR組件目前只能依賴進口。這個問題對於印度武器裝備發展的影響是全面的，已經服役的海軍“維克蘭特”號航母至今沒有搭載源相控陣雷達。可

以遇見，未來一段時間，五代機AMCA依然會向國外採購源相控陣雷達。

三是國產先進渦扇發動機研發遙遙無期。五代機AMCA要实现超音速巡航，必須裝有高性能渦扇發動機。印度在航空發動機研發能力方面基礎薄弱。從1986年開始，印度燃氣渦輪研究院就開始研製國產“卡佛里”中等推力渦扇發動機，計劃用於裝備LCA“光輝”戰機，歷經30餘年研發周期，目前也未達到實用水平。期間，印度航空基礎材料和製造工藝不足的問題，導致發動機叶片、渦輪等關鍵零部件设计和製造長期不過關。同時，印度缺乏必需的測試設備，不得不依靠法國、俄羅斯進行發動機測試，這也是發動機研製成本增加、周期延长的主要外因。

有消息稱，五代機AMCA初期版本已經徹底放棄國產發動機，原型機將選用美國通用電氣公司的F414渦扇發動機，以保證首飛如期進行。目前，在法國賽峰集團的幫助下，印度燃氣渦輪研究院仍在完善“卡佛里”發動機，希望能夠裝在量產五代機AMCA上，但仍有大量技術難題需要突破。

印度官員表示，當前階段，五代機AMCA項目主要任務是製造5架原型機進行飛行測試。同時，他還公布了從2019年開始五代機AMCA的10年發展規劃路線圖：預計首架原型機於2024年面世，2025年或2026年進行首飛，2029年開始量產。不過，從LCA“光輝”戰機發展過程看，這個路線圖過於樂觀，LCA“光輝”戰機早在2001年1月就完成首飛，但交付部隊一直等到15年後。五代機AMCA比LCA“光輝”戰機研製複雜得多，在原型機還未製造出來的當下談服役還為時尚早。

上圖：印度展出的五代機AMCA模型。資料照片



“守橋軍的機槍瘋狂吐着火舌，紛飛的子彈打得鐵索火花四濺，22名守橋勇士一手持沖鋒槍，一手扶著鐵索，冒着槍林彈雨，朝對岸發起沖鋒……”電影《大渡河》中，紅軍奪取大渡河的一幕令人熱血沸騰，紅軍戰士手中拿著的正是MP-18沖鋒槍。

一戰期間，各國軍隊普遍列裝了射程遠、火力大的機槍。然而，殘酷的塹壕戰讓交戰雙方意識到：一些小巧灵活的武器在塹壕戰中更具優勢，部隊急需一款能夠連續射擊的微型機槍。

時任伯格曼公司初級設計員的雨果·施麥瑟開始設計自己的第一款作

品。雨果出生於槍械世家，從小就對各種槍械口徑參數了如指掌。

當時，手槍是主要的近距離作戰武器，但其缺陷也是顯而易見的。雨果通過反復拆解手槍，一個創新想法突然在腦海中浮現：“如果能在子彈入膛前瞬間點燃底火，就可以使彈壳後坐力抵消槍機前衝的部分動能，從而提高整體槍機效能。”

沒過多久，在自由槍機工作原理的基礎上，雨果創新底火待發技術，使得槍械擁有更高的射速和精度。解決發射問題後，雨果又對槍械造型進行設計——選擇木制槍托和槍身，減輕槍

械整體重量；槍身內置一個可以容納所有活動部件的圓桶式機匣，使整體結構更加緊湊小巧；採用鋼制槍管外包多孔套筒，提高氣體冷卻效率。

在測試環節，多槍同時齊射，火舌噴湧而出。數秒後，150米外多個人形靶應聲倒地。定型後，這款微型機槍有了一個後人熟悉的名字——MP-18沖鋒槍。該槍結構簡單、容錯率高，且各項作戰數據符合預期標準，是一款適合近距離作戰的好槍。

一戰結束後，各國紛紛仿製MP-18沖鋒槍。之後的日本百式沖鋒槍、英國

“蘭徹斯特”沖鋒槍等，都能看到MP-18沖鋒槍的影子。在當時中國，MP-18俗稱“手提花機關槍”或“花機關”。長征期間，難以攜帶，體量輕、火力猛、威力大的MP-18沖鋒槍，成為紅軍戰士手中的“重武器”，為中國革命的成功立下汗馬功勞。

左圖：MP-18沖鋒槍。資料照片

近戰利器：MP-18 沖鋒槍

■李双吉 杜嘉浩

軍工檔案