

極音速飛行不是夢

· 魏楞傑 ·

噴射引擎推進系統即將有重大的突破，美國空軍SR-71黑鳥(Blackbird)偵察機在一九九〇年創下三點三馬赫的飛行速度紀錄，由西岸的洛杉磯飛到東岸的華府只需一個多小時，未來以超音速燃燒衝壓噴射引擎(Supersonic Combustion Ramjet)為動力的飛機，由紐約直飛東京只需兩小時，飛行速度接近每小時一萬六千公里。

即將於今年底推動X-51A驗證機的SIX-1超音速燃燒衝壓噴射引擎，是有史以來所製造出最先進的此類型引擎，研究團隊已在美國航太總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)蘭利研究中心(Langley Research Center)進行四十四次的高溫風洞吹試，累積試驗時間雖僅有十七點八分鐘，但對超音速燃燒衝壓噴射引擎而言，這已經是不得了的長時間了。

下世代噴射引擎

超音速燃燒衝壓噴射引擎是進氣式(air-breath)噴射引擎家族的一員。基本上，噴射引擎是將空氣壓縮後與燃料混合，燃燒後產生的氣體高速向後噴出，可提供向前的推力。現今最常見的商用噴射引擎結構，由前往後分為五大部分：進氣口、壓縮機、燃燒室、渦輪、噴嘴，此種引擎的速度極限是三馬赫，超過此速度，引擎葉片就會因超溫而融化；火箭引擎雖能達到二十五馬赫的高速，但得攜帶大量的液態氧充當助燃劑，譬如太空梭空重僅有七萬五千公斤，每次飛行就得攜帶液態氧燃料十萬三千公斤、液態氧六十四萬公斤。衝壓噴射引擎的活動式金屬零件很少，且沒有引擎葉片這類的轉動式金屬零件，又以空氣中的氧來助燃，可以解決上述的兩難。

衝壓噴射引擎的設計是讓進入的空氣進行衝壓壓縮(ram-compressed)，當速度到達約二點五馬赫

時，引擎就不需要壓縮機及渦輪，所以衝壓噴射引擎只有進氣口、燃燒室、以及噴嘴，且進氣口經過特殊設計，會在快速吸入空氣時進行擠壓，讓空氣減速到次音速，空氣因動能轉換為熱能使溫度驟升到華氏數千度，與燃油混合燃燒後，由尾部噴口噴出大量的快速氣流，產生極大的前向推力。

但衝壓噴射引擎有它的性能極限：為了最佳的工作效率，空氣進入燃燒室時需減速為次音速，使得進氣溫度急遽升高，不論用何種方式冷卻，以衝壓噴射引擎為動力的飛行器，飛行速度不能超過五馬赫，否則引擎會因過熱而空中解體。

超音速燃燒衝壓噴射引擎沒有衝壓噴射引擎用來降低進氣速度的擴散器(diffuser)，讓事情完全改

觀，它讓進氣在引擎氣道中以超音速穿梭，因此飛行速度可達五馬赫以上，不過要在超音速氣流中維持穩定的燃燒極端困難，空氣在引擎裡停留的時間只有短短的千分之幾秒，科學家比喻為「在暴風中點燃一根火柴」，而且還不能熄滅。

科技進展

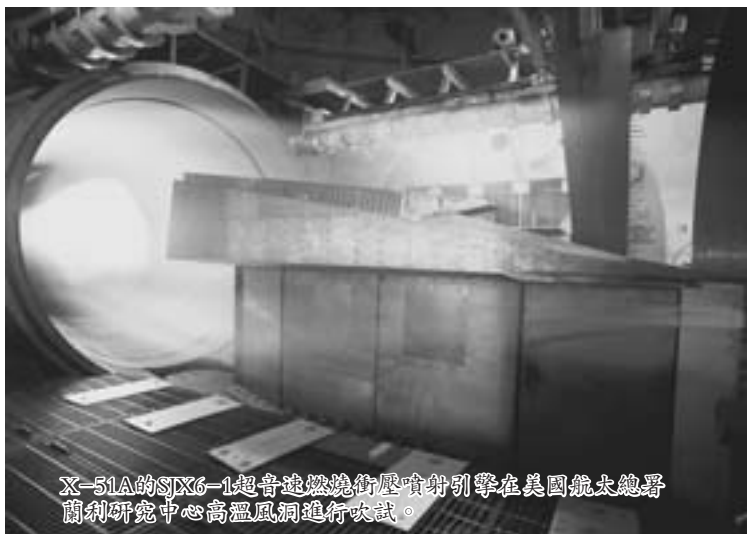
美國在一九八六年啟動的國家太空飛機(National Aerospace Plane)計畫，企圖開發出一架以超音速燃燒衝壓噴射引擎為動力，可進出太空的飛行器，一九九四年雖因研究失敗遭柯林頓總統(Bill Clinton)終止，不過研究活動並未就此停止，只是研究方向有所轉變，美國航太總署不再企圖一步登天，一口氣開發一架最高速度二十五馬赫，可由傳統跑道起降的飛機，而是廓清技術問題的所在，分階段逐項克服。目前進行的是將實驗室技術帶到實際飛行中，超音速燃燒衝壓噴射引擎領域的研究人員，在對極音速(Hypersonic)空氣動力學及吸氣式推進系統有了新認識後，也認為現在是踏入實際試驗驗證的好時機，因此美國航太總署在二〇〇四年



2004.11.16美國的X-43A創下世界最快飛行速度紀錄9.6馬赫。

肩負開創超音速燃燒衝壓噴射引擎新時代重任的X-51A。





X-51A的SJX6-1超音速燃燒衝壓噴射引擎在美國航太總署蘭利研究中心高溫風洞進行吹試。

十一月十六日完成無人飛行載具X-43A的飛試，創下新的世界最快飛行速度紀錄九點六馬赫，超音速燃燒衝壓噴射引擎在這次飛試中僅提供約十秒鐘的動力，就讓載具達到前所未有的速度。

若超音速燃燒衝壓噴射引擎能持續提供動力數分鐘，就能充當超音速長程飛彈的動力源，這也是美國國防先進研究計畫署(Defense Advanced Research Projects Agency)和美國海軍高飛(HyFly)專案的真正目的，此專案於二〇〇七年秋天進行了兩次飛試，由一架F-15戰機在高空將一具超音速燃燒衝壓噴射引擎拋離，再由增力火箭加速到工作速度，試驗目標是讓引擎在六馬赫的速度，持續運轉超過一百秒以上，只是並未成功。

一架有人駕駛、攜帶可觀酬載、依靠本身動力自行起降的極音速飛行器，超音速燃燒衝壓噴射引擎提供動力的時間得遠大於一百秒才行，突破這個障礙正是X-51A飛試專案的責任，該專案研究人員迄今已花費無數的時間，在藍利研究中心的高溫風洞吹試X-51A的SJX6-1超音速燃燒衝壓噴射引

擎，這具引擎受到前所未有的嚴酷試煉。SJX6-1引擎使用可承受華氏兩千一百度高溫的鎳鋼合金，最前緣有抗高溫的石墨塗層，但這樣還不夠，所以SJX6-1引擎工程師向火箭引擎取經，讓燃油在進入燃燒室之前，先循環繞流引擎壁內的冷卻管路，為溫度華氏三千度以上的燃燒室降溫，並讓燃油氣化成高溫可燃氣體，比液體狀態多產生百分之十的能量。

X-51A的目標是持續五分鐘不間斷地由超音速燃燒衝壓噴射引擎提供飛行動力，若飛試成功，接下來很快就是延長飛行時間的測試。超音速燃燒衝壓噴射引擎提供動力時間的長短，取決於機上攜帶燃料的多寡，和推進系統本身無關，因此只需改用較大的燃料箱，原本的五分鐘很容易就能延長到一小時，甚至更久。

預定在二〇〇九年十月二十九日，一架B-52轟炸機的機翼龍下將掛著X-51A由加州愛德華空軍基地起飛，向海岸方向飛行，在四萬五千英尺高空拋離X-51A，接著啟動安裝於載具上的增力火箭，將載具帶到六萬英尺的高空，速度超過四點五馬赫，然後火箭脫離，超音速燃燒衝壓噴射引擎點火並接手。在提供動力的五分鐘內，X-51A會加速到六馬赫，高度八萬英尺以上，燃油燒盡後，載具滑翔向太平洋墜落，飛行數據以無線電傳送給地面的控制站。

這次飛試若順利成功，代表超音速燃燒衝壓噴射引擎不再是實驗室裡曇花一現的成果，而是實際可行的工具。擁有一架由超音速燃燒衝壓噴射引擎提供動力、海天遨遊、尺寸大小隨意的飛行器，將不再是遙不可及的夢想。

X-51A之後

第一架真正自由遨遊的超音速衝壓飛行器，可能是國防先進研究計畫署的HTV-3X，又稱為「黑雨燕」(Blackbird)。這架無人飛行載具外形很像外星人的太空船，船首銳利如劍尖，船尾是橄欖形的大排氣孔，機上有傳統渦輪

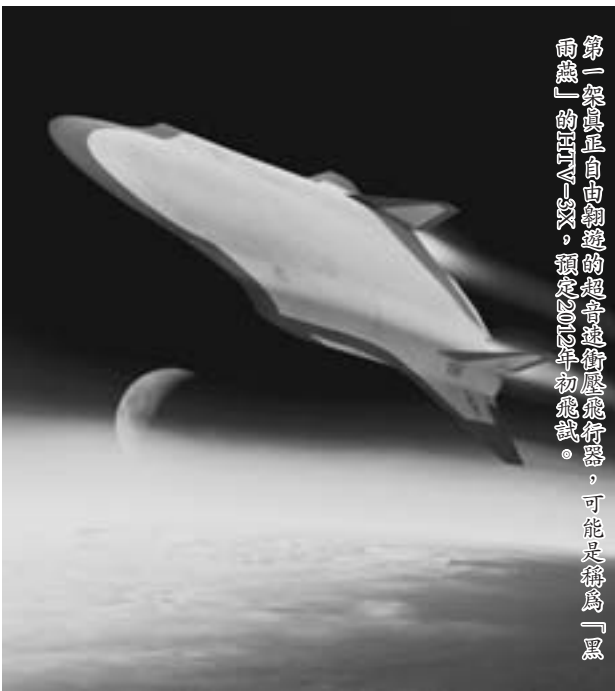
噴射引擎和超音速燃燒衝壓噴射引擎，兩者上下並排組成一複合式週期引擎(Combined-Cycle Engine)，兩引擎共用進氣道和噴氣口。

「黑雨燕」目前還是鷹隼(Falcon)專案的一架紙上飛機，但它可能成為繼發明噴射引擎之後，航空史上另一個重大突破。這架載具將首次展示實用型極音速飛行器所需的一切科技，由起飛到降落，由飛試開始到結束的那一刻，全程儘量以超音速燃燒衝壓噴射引擎為動力，首飛日期暫定在二〇一二年年初，飛試過程為：從愛德華空軍基地的一座棚廠內滑上行上跑道，先由傳統渦輪噴射引擎將飛行器帶上藍天，速度到達兩馬赫時，一道活門將噴射引擎進氣道關閉，同時開啓超音速燃燒衝壓噴射引擎的氣流通道，超音速燃燒衝壓噴射引擎開始工作；當速度到達六馬赫(噴射引擎最高速限的兩倍)，飛試目標完成，飛行器減速到次音速，改由噴射引擎接手，返回愛德華空軍基地，飛試大功告成。

普惠公司(Pratt & Whitney)的洛克旦廠(Rocket-dyne)已經開始製造HTV-3X所需的複合式週期引擎，而洛馬公司(Lockheed Martin)雖然不承認，但一般相信它著名的臭鼬工廠(Skunk Works)，正在製造載具本體。

它國發展

第一架真正自由遨遊的超音速衝壓飛行器，可能是稱為「黑雨燕」的HTV-3X。預定2012年初飛試。



澳洲昆士蘭大學極音速中心研究團隊開發的小型超音速燃燒衝壓噴射引擎「高射」載具。



除了美國外，另外一些國家也在開發超音速燃燒衝壓噴射引擎。二〇〇七年七月三十日，澳洲昆士蘭大學極音速中心(Center for Hypersonics)的研究團隊，以火箭將一架裝有小型超音速燃燒衝壓噴射引擎，名為「高射」(HvSho)的載具送到大氣層的最上方，離地球約三百一十四公里的高度，此時速度為二點七五馬赫。接著載具脫離火箭向下俯衝，在大約離地球三十七公里的高度處，引擎點燃氫氣燃料，大約燃燒了五秒鐘，將載具加速到七點六馬赫，完成全球首次的超音速燃燒衝壓噴射引擎飛行。

美國航太協會(Institute of Aeronautics and Astronautics)於二〇〇七年七月在俄亥俄州辛辛那提市(Cincinnati)舉辦聯合推進會議(Joint Propulsion Conference)時，幾位來自中國大陸的工程師在會議中提報大陸漸增的超音速燃燒衝壓噴射引擎研究計畫，其中提到在北京新建一極音速風洞，以及由火箭和超音速燃燒衝壓噴射組合的複合式週期引擎發展。大陸學者與會的主要原因，是想搜集西方國家在此領域的研究成果，大陸只需在會場發表幾篇論文，就能搜羅大會超過五百篇涵蓋多方面的推進科技論文。分析家們相信大陸正在進行的相關研究，一定遠超過發表論文中所提到的現況。

瑞典的紳寶公司(Saab Bofors Dynamics AB)雖然不承認，但該公司在瑞典國防物資署(Swedish Defence Material Administration)提供經費下，已開發並飛試三枚極音速飛彈，以驗證如何在極音速進行飛控。目前完成的三枚飛彈飛試中，頭兩次的飛試是驗證飛彈的側向運動能力，以及不繞彈軸旋轉的飛行能力；第三次則是測試導向系統控制飛彈以既定的路線飛行。飛試過程中的最高速度超過五點五馬赫，即每小時六千五百公里，飛試結果相當成功，顯示該公司順利結合材料、氣動力、導向系統的完善設計，確能控制極音速飛彈的飛行路徑，紳寶也成為率先達成極音速飛彈有效飛控的先驅。

極音速飛彈很難反制，它的速度極快，目標能反應的時間非常短促，因此命中率會相對提高。不過開發這種飛彈也是極大的挑戰，飛行速度快，作



美國海軍企圖藉由「高飛」專案開發出以超音速燃燒衝壓噴射引擎為動力的超音速長程飛彈。

用於彈體飛控面的風阻很大，會發生無法預測的大變形，和空氣高速磨擦也會產生一般材料無法承受的高熱。

以色列航太公司(Israel Aerospace Industries)現正與印度的國防研究發展機構(Defence Research and Development Organization)合作，開發一型極音速科技驗證飛行載具，目前正在以色列航太公司進行風洞吹試。印度打算在此載具上驗證該國發展中、以煤油為燃料的吸氣式超音速燃燒衝壓噴射引擎，設計最大速度為七馬赫，用來將酬載送入太空軌道的費用每磅僅九十美元，約是現今費用的百分之一。印度同時也發展載具抗高熱所需的特殊材料，新材料據說與美國的X-43雷同，同樣結合複合材料、鎳基超合金、鈦合金、以及熱傳導極佳的銅合金。

極音速民航

過去超音速燃燒衝壓噴射引擎計畫以失敗收場，目前進行中的類似計畫也未必一定成功。二〇〇八年一月十六日，波音「高飛」專案展示一枚以六馬赫飛行的極音速飛彈，由於引擎失效一頭栽進太平洋，這也是此專案的最後一次飛試。當次飛試中，一架F-15在空中發射飛試彈，先由增力火箭加速到三馬赫，然後由超音速燃燒衝壓噴射引擎接手，將飛彈增速到六馬赫，但是超音速燃燒衝壓噴射引擎的工作情況與預期大相逕庭，僅短短飛行五十八秒就掉入太平洋中；在此之前二〇〇七年九月十六日同樣失敗的飛試中，增力火箭完成初步加速並順利脫離飛彈，超音速燃燒衝壓噴射引擎也順利點火，卻未能把飛彈加速到預定的速度。

縱然失敗的案例斑斑可考，但研究人員仍然樂觀地認為，超音速燃燒衝壓噴射引擎體化的時代已然到來。先進推進科技的發展進程，大約每數十年就會有突破，第一篇有關火箭的論文發表於一九〇三年，到一九四〇年代時的二次世界大戰，火箭就赫然出現在戰場上；一九六〇年，研究人員指出製造超音速燃燒衝壓噴射引擎的種種挑戰，五十年後的今天已陸續見到許多雛型品出現，所以一架民航機由紐約直飛東京只需兩小時的夢想，可能比想像中還要快成真呢！