

台灣火箭與太空的故事

●陳彥升／晉陞太空科技股份有限公司董事長、前國家太空中心探空火箭計畫總主持人

最近，媒體上報導了我們福爾摩沙衛星五號（以下簡稱「福衛五號」）照片品質，經過一系列影像優化處理之後，已經大為改善等等。問題是，這種事情本不該發生在一個已經有二十六年執行太空計畫經驗的單位，而且經過人為調校的衛星影像，又要如何去除外界對其照片可能失真的疑慮？我雖然不是衛星影像光學的專家，但卻深切了解研製衛星照像機，所必備系統工程的程序，以及其組裝校正不可或缺的設備。如果能在這些基礎上進行研製，必定能避免「福衛五號」所遇到的問題。只可惜當時我數次誠摯的建議未被採納，其餘的都已是歷史了。作這個評論，主要是與我在美國國家航空暨太空總署（National Aeronautics and Space Administration，簡稱NASA）馬歇爾太空中心（Marshall Space Flight Center，簡稱MSFC）工作多年所累積的經驗有關。雖然當時我主要負責的工作是在火箭推進及載具系統方面，但是知名的哈伯望遠鏡，當年就是在我們那個NASA中心所研製組裝的，因此經由與哈伯工作同仁的資訊交流，我從而學習了很多。

航太系統可以說是所有工程系統中，要求最高的。尤其是飛行速度超快及動態複雜的火箭以及操作環境嚴苛的衛星，一旦發射了，就失去了維修及補救的可能機會，所以在地面上依設計需求的測試驗證工作，就相形地重要，成為任務成功與否的關鍵步驟。由此可見在航太研發中，專業步驟及適切的量測與測試設備的不可或缺。以衛星照相機為例，除了專業技術（Knowhow）之外，最重要的量測與測試設備系統，就是所謂的「衛星相機真空光學量測平台」（Satellite Camera Vacuum Optical Bench Platform），而這個平台必須建置在百噸以上的隔離避震水泥地基之上，如此才能讓相機的發展與調校，在最接近太空的環境中進行，排除任何地面環境的干擾，最後得到影像品質的驗證與確認。不論是NASA、美、歐、日、韓，以及其他各國的太空單位，都是使用類似的設備來發展衛星照相機，我們實在很難相信台灣的太空中心，竟然可以省略這項重要的設備，導致現在「福衛五號」所拍的照片需要特別的後製處理，還無法達到「福衛二號」的水準，我一點也不會覺得意外了。

回顧與台灣的太空結緣，就在阿扁總統連任之後。2004年就在陳水扁總統連任就職的同時，「福衛二號」在美國西部的范登堡空軍基地，搭乘金牛座火箭（Taurus Rocket）成功發射，開啟台灣長達十一年的衛星照片商業服務。在當年兩米解析度的衛

星影像，是很有商業價值的，加上「福衛二號」獨特每日再訪的太陽同步軌道，其商業及戰略需求，更是如日中天，且在服役期間，頻創迅速太空取像任務的奇蹟。當然，後來各國的衛星照相解析度，很多已有突破一米以下的技術，且漸漸成為國際上的平常，就連Google地圖也大多是零點五米左右的水準了，兩米以上解析度的衛星影像，其商業及戰略價值也就因此大不如前了。

在「福衛二號」發射成功的同時，太空中心的新主任吳作樂也發表了未來太空計畫的展望，其中包括自主發展衛星發射載具，也就是要改變台灣當時保守的太空政策，而啟動火箭發射系統的發展。當時還在美國，從事NASA工作的我，得知消息，覺得台灣終於要做真的太空研發了。跟NASA工作了二十一年，我深知火箭技術是太空科技的核心，而火箭的引擎推進技術才能夠定義太空計畫的深度與廣度，同時帶動太空產業發展的可能。我們看韓國發展太空的策略與過程，以及他們今日太空產業所表現的能量，就能印證我上述的道理。台灣之前的太空計畫，實質上主要是為少數學者服務，其間雖然也建立了一些技術，但對於整個太空產業的幫助，可以說是微乎其微，獨缺火箭相關技術就是其中的主因。

當時，我又與交通大學林明璋院士以及吳宗信教授透過Email討論太空中心的新發展，他們都鼓勵我回來幫忙發展台灣的火箭載具系統。因此，2004年底，經由太空中心吳岸明組長的邀請，我到太空中心面談，而當時的演講內容，主要是建議台灣發展混合式火箭引擎的載具技術，因為我評估那是最適合台灣當前工業基礎的發展方向。在那時候，我與NASA同仁正在研究核能動力火箭引擎，好讓未來將人送到火星的時間，可以縮短到一百天以內，而回台這個重大的決定，恐怕會影響這項研究的進度。還好我們最後還是完成了工作且得到很好的設計結果，也因此分別在2007及2008年獲得NASA／MSFC及NASA總部的年度軟體設計獎（Software of the Year Award）。隨後再經過家中一番的討論之後，我終於在2005年3月28日回到台灣，當時吳岸明博士特別到桃園機場來接我，之後先短暫住在招待所，接著住到姊夫在新竹的家，直到年底買下竹北的房子後，家人才從美國阿拉巴馬搬回台灣。真是辛苦了太太，扛下了賣房子及搬家的工作，而且以前在美國的兩次搬家，都是她處理的。

進入太空中心之後，除了開始了解當時衛星計畫的細節之外，最重要的就是積極參與探空火箭的計畫，並著手規劃一如何建立台灣小型發射載具（Taiwan Small Launch Vehicle，簡稱TSLV）的研發計畫。為了該計畫的順利進行，在吳岸明博士及太空中心高層的推薦下，我接下了探空火箭計畫主持人及系統工程組的組長，自此到2014年為止總共主持了「探空五號」到「探空十號」的發射任務，主要的實驗包括電離層研究，以及太空工程技術研發的測試驗證，如推進器、陀螺儀、回收艙及滾轉控制系統等。

2005年開始推動發射載具火箭計畫之後，我才開始了解台灣的官方及學界中，其實有些人對於這個計畫是持反對的態度，而且還算是重量級的人士，而大多是基於本位主

義的作祟，怕預算資源的排擠，而且經過觀察還有些人是不希望台灣擁有這種高戰略價值的軍民兩用技術。但我的想法是，火箭載具是唯一能帶動一個國家太空產業的火車頭，沒有火箭載具的技術，就等於太空計畫永遠要仰人鼻息及受制於人，無法建立民間投資與產業化的動能。無論如何，推動這項計畫的阻力，可見有多大。還好，當時阿扁政府很支持自主戰略技術的發展，也因此我才有機會從爭取小經費開始籌備這項計畫。

由於台灣長期以來的航太推進技術，是建立在中山科學研究院（中科院），所以很自然地會考慮與中科院合作來執行。而中科院的火箭推進技術，是以固態燃料發動機為主，如天弓飛彈、天箭、雄一、雄二及雄三的助推器，以及早期的天馬計畫等都是，因此第一型的小型發射載具設計，就只能以固態火箭為主軸。固態火箭的主要優點，包括高燃料密度，使得火箭體積可以作得小，空氣阻力減小、加速快，還有極佳的備便性及長期儲存穩定性，這些都是重要的軍事應用特點。但它的燃燒推進效率較低，而且缺乏推力調控的能力，是較不利於用來設計發射載具的缺點，所以最適合用來作為助推器，如太空梭、亞利安、H-2B及其他知名的發射載具，都有固態火箭助推器的設計。而為了整體發射載具計畫的順利規劃，對於中科院研製火箭能力的通盤了解，是有其必要性，這方面是經由中科院計畫同仁的大力協助來完成的，其間為了尋找未來可能的發射場建地，我們也前後數次勘察了綠島與蘭嶼。有一次，拜訪了蘭嶼達悟族的頭目，他讓我們試戴頭盔，以及坐李前總統坐過的石椅。

2006年太空中心完成最重大的事蹟，就是「福衛三號」的發射。「福衛三號」總共有六顆六十多公斤碟狀的氣象衛星，發射時是堆疊在火箭上端，發射後會逐一分離釋放出。發射時間是4月15日，本來以為一切都已經就緒，但在快進倒數的發射幾個小時前，美國范登堡發射場指揮中心卻傳來衛星酬載釋放疑慮可能影響發射的消息。主要是事前沒有考慮到上節火箭的殘餘推力影響，因此吳主任立刻找到我來做決定。這也是我的專長之一，固態火箭的殘餘推力在真空環境下，在燃燒完畢後，由於發動機內壁的防熱橡膠層都還處於高溫狀態，其解離釋放的氣化產物還是會繼續產生小小的推力，如此整個火箭還是會有些微的加速度，在衛星釋放後，火箭有可能會追撞上去，後果會很嚴重。我即刻找我們系工組的朱崇惠來討論，因為她之前作過衛星分離程序的模擬。但由於發射窗的時間緊迫，只能根據模擬的數據，加上新狀況的經驗評估，必須迅速作出決定，所以當場用心算來估計，在吳主任的辦公室透過越洋電話，直接作出沒問題可以發射的決定，讓吳主任有點驚訝。這是我一生碰到最緊急的決定，還好事實證明心算的結果是對的，「福衛三號」的六顆衛星最後都順利送進軌道。

回到火箭載具計畫，由於中科院的飛彈技術，包含了美方的技轉及零組件的採購，因此在載具計畫的規劃初期，美國在台協會（AIT）即來太空中心詢問關切，他們是根據「飛彈技術管制條例」（Missile Technology Control Regime，簡稱MTCR）來詢問的，因為是關乎火箭技術轉移的延伸應用與技術擴散的疑慮，而如果是完全自主發展的技

術，就不在其管制範圍。當美方了解我們規劃的衛星酬載在一百公斤以內之後，而且只為發射衛星的和平應用，他們只說這麼小的酬載！之後就沒有表示任何反對之意。

這個載具計畫，因此在政府高層的支持及探空火箭團隊的努力下，於2005年底以科發基金啟動第一階段的系統設計研發案，最後研究的結果是可行的方案，能以四節火箭的設計，達成運送五十公斤的微衛星，進入五百公里地球軌道。這個研究結果，於2006年中向國科會報告，於國科會備查後，接受指示繼續規劃全程的發展計畫。

接下來，為了驗證中科院火箭的性能，能夠滿足火箭最上方第四節（Upper Stage）進入軌道的需求，計畫單位隨即啟動了入軌火箭發動機的研發案，這個關鍵技術的主要目標，是要達成固態火箭燃燒時間能超過五十秒，並且必須驗證火箭在真空的環境下也能順利點火。在這個關鍵計畫中，我們則開發了3D碳-碳（3D Carbon-Carbon）的耐燒蝕火箭噴嘴，以及高燃料容積的固態火箭內彈道設計，達到超過五十秒的燃燒推進性能，並以引氣管（Ejector）真空模擬艙來完成了高空點火的測試驗證。由於階段型的計畫進行順利，我們的小型發射載具全程計畫，於是在2007年開始進入了預算經費框列的階段。也因此，當時國科會主委陳建仁，在立法院答詢時，正式預告太空中心與中科院合作研製的小型發射載具，將於2011年進行首次的發射。

很可惜地，在2008年政黨輪替之後，發射載具計畫的推動，很明顯地就失去了政府高層的支撐力。新上任的國科會主委李羅權，隨即在主委辦公室成立了太空計畫整合決策小組的黑機關，以中研院劉兆漢院士為主席，成員大多是跟大氣科學相關的學者來主導太空計畫每年二十億上下的預算。而在馬英九上台前，小型發射載具計畫已經開始進入預算執行的階段，而且與中科院談妥整案的預算額度，因此在2009年初開始購案的議價，不料經過三次議價未成之後，由國科會指示計畫回到重新檢討的階段，最後就以中止計畫結束了這個案子。當然政府高層的說法暗示是因為美方的關切，而最有可能的是AIT的意見，但所謂的AIT的意見如何而來的，令人質疑。

據了解，AIT在台灣的任務，除了美僑工作之外，美國利益的維護及區域安全資訊的收集，是他們的重點工作。他們也深切了解台灣社會內部的衝突與競爭。所以當國內有人想要改變一項計畫的發展，尤其是跟航太及國防領域相關的議題，他們就很可能會拿去問AIT，而依問問題的方式，對方立刻會找出可操作的空間，因為AIT一定是要維護美國產業的利益，所以他們的回答肯定會是不鼓勵的說法。以發展發射載具為例，AIT一定是不會鼓勵的，如此一來台灣所有主要的衛星發射就只能付錢找美國的廠商提供服務，合乎美國的利益。同時在國內競爭預算的這一方，極可能是去詢問AIT的一方，也得到了AIT的尚方寶劍，可以阻止發射載具的發展。也許有人會問，上述的論點有何證據？簡單的回答是，阿扁時代能，為何之後不能？而且，阿扁政府執政的後期，美方對台灣的態度並不是很友善，所以台灣要想讓高戰略價值及高能見度的計畫有所發展，不必去問AIT了，執政黨及產業界的意志才是關鍵之所在，因為民主國家擁有自主發展的

火箭技術，本來就不會受到任何國際條約的約束。

在小型發射載具計畫被停掉之後，探空火箭計畫團隊就專心回到探空科學實驗的發射工作，同時在2008年也啟動了學界混合式探空火箭的研發計畫，希望能實現我初到太空中心面談時，所建議的民間火箭技術的發展方向。當時以兩個計畫公開招標了兩個大學團隊，分別是交通大學及成功大學的團隊，目標是在兩年內完成混合探空火箭的發射任務。我認為這是真正能讓大學生學以致用，以及第一手訓練系統工程作業的計畫，除了很多具有挑戰性的研究題目之外，這也是讓教授能有更接近帶領工程團隊的實務經驗，美國很多知名大學的教授很多是有這樣的實務經驗，如MIT、Princeton、Caltech、Penn State、Stanford等，他們的團隊長期跟NASA、DoD、DARPA等國家實驗室，從事實際系統的開發與研究，又與國防產業公司合作，幫助美國的國力居於領先的地位，這才是學界能貢獻於國家的重要角色。而當初規劃有兩個大學火箭團隊，也是取之於NASA的做法，因為在競爭之下就會得到更多的進步，結果證明這個策略是正確的，這兩個大學團隊都做出很優異的成果，而交通大學的團隊中所參與的學生數及跨校的團隊合作過程，更可成為未來台灣學術界合作的典範。

可惜學界發展探空火箭的經費支援，在2014年之後轉到科技部底下執行，規模與範疇也因此縮減許多，無法支撐有深度的探空實驗，我認為這是一項錯誤的政策轉變。因為探空火箭是世界各主要太空機構，用來發展太空元件及創新概念時，最能展現效益且最經濟的實際太空環境測試平台，而實驗要得到有意義的結果，探空火箭必須有發射超過一百公里高度的能力，因此必須由專業的太空單位來執行，才能期待達到這個嚴苛的技術目標，所以放到學門之下作計畫，等於是限制其發展潛力。結果，到2015年之後，交通大學的火箭團隊變成必須以大眾募資的方式，來期待完成學界突破一百公里高度的挑戰，得到全國各界及民眾普遍的支持。可見，科技發展必須有長遠的眼光及正確的政策，才能達成，這應該是政府的責任。

在執行探空火箭計畫當中，值得一提的是有關「探空十號」計畫執行的過程。由於探十科學酬載的任務需求，要求火箭在執行實驗的階段，其滾轉速度必須在每秒一轉左右，而中科院的探空火箭，是完全靠空氣動力來達到穩定的，並沒有控制飛行軌跡的能力，所以在火箭的發射爬升階段，必須利用其尾翼的偏角來讓火箭滾動每秒三至四轉，來消除火箭及推力的偏斜效應，也就是旋轉平均的權宜設計。但是，這個兩節火箭的設計，原來並沒有任何降低滾轉的機制，所以探空團隊就必須從頭設計一套減滾的系統（Despin System）設備裝設到中科院的火箭上使用，才能符合科學實驗的需求。因此，我們就找屏東科技大學的胡惠文教授及成功大學的何明字教授，來幫忙發展這套系統，而我則提供了NASA設計的資料給他們參考。

結果他們在2013年，好不容易地完成了系統製造及地面測試，尤其是在校園內，要執行高轉速釋放機構的實驗，必須有適合的場地，並且維護參與實驗學生的安全，實在

是不簡單。然後又在2014年3月，使用交通大學吳教授的混合式火箭，在屏東東部海岸進行發射，雖然這次的發射高度不是很高，但所下傳的資料，提供了足夠的實驗數據，讓我們判斷，這次確實已完成了飛行環境下的減滾系統驗證，如此才符合了中科院的系統發展需求，好讓這個系統能整合到他們的火箭上。這中間，中科院的探空火箭團隊，排除萬難，在很短的時間內，修改了火箭內部的系統配置，以及外殼的設計，再經過系統的確認與驗證，也是一項不簡單的工程。

最後，探十在2014年10月7日的中午順利發射升空，在第二節燃畢之後，減滾系統開始啟動，結果是火箭很準確地在一秒內，從每秒三轉降到一轉的滾動，符合科學實驗需求，在大約三百公里的高空執行了科學實驗。這項火箭減滾系統的飛行結果，真是不輸NASA水準的表現，團隊成員對這項結果，都非常地高興。在台灣，這件事有幾點的第一，首先，這是第一套火箭的減滾系統；再則，這是第一次中科院探空火箭為了減滾系統而改型，而且一次就成功；第三，這是台灣大學的團隊第一次從實驗室及地面測試，到飛行試驗，以及實際太空任務的完整太空體系的完美演出。也就是說，從NASA規範中的九級技術備便層級的第一～三級，順利地走到第九級，我認為參與其中的大學及中科院團隊同仁，都應該引以為傲。以這個計畫案執行的過程及成果，來看我們團隊的專業技術能力，我對於台灣發展發射載具的能力充滿著信心，我相信只要大家一起繼續努力，達成自己的衛星自己送的目標，將會如自己的國家自己救一樣，成為全體國民的信心與驕傲。◆