

# 美國航空暨太空總署

## 小而美、快而廉的探索計畫

傅學海

國立臺灣師範大學 地球科學系

相信一般人都有想做事而錢不夠的經驗，也常認為國家一級單位應該經費充足，可以充分發揮創意。但是就如人們常說的「花無百日紅，人無百日好」，即使百年老店、國際大企業也會衰頹，甚至關門。美國航空暨太空總署目前正處於經費拮据的情形。

美國在一九六〇年代進行阿波羅登月計畫，成立美國航空暨太空總署。經費充分，統合各方資源與人才，終於在一九六九年跨出人類的一大步，踏上了月球表面。同時也展開一連串的太陽系太空探測，從太空實驗室、兩艘先鋒號、兩艘海盜號、兩艘航海家、等太空船，探測了太陽、水星、金星、火星、木星、土星、天王星、海王星、等，傳回無數前所未見的影像，得到輝煌的成就，開啟人類探測宇宙的天窗。

但是蘇聯解體後，整個世界進入後冷戰時代，有關武器、太空、等耗錢又與民生較無關係的經費都被刪除或縮減。為了因應經費緊縮的局面，美國航空暨太空總署提出了小而美、快而廉的太陽系太空探測計畫，稱為「探索計畫」(discovery program)。

探索計畫的目標是每個單項計畫能快速見效(大約比三年短)，總經費少於三億美元，以及可以融合工業、小型企業與各大學來共同參與。強調「快一點，好一點，省一

點」。到目前為止，一共挑選了八個任務進行，其中三個任務已經結束，其他正在進行中。

近地小行星任務(NEAR, Asteroid rendezvous)  
火星拓荒任務(Mars Pathfinder)

月球探勘任務(Lunar Prospector)

星塵任務(Star dust): 採集彗星物質。

創世紀任務(Genesis): 採集太陽風粒子樣本。

彗核任務(CONTOUR): 探測三個彗星的形貌，預定在二〇〇二年夏天升空。

水星任務(Mercury: Surface, Space Environment, Geochemistry and Ranging, 簡稱MESSENGER): 調查水星表面、地質化學與周圍的太空環境，例如水星地殼的組成與結構、極稀薄大氣的特徵等。預定在二〇〇四年三月升空。

深擊任務(Deep Impact): 採集太陽風粒子樣本，預定在二〇〇四年一月升空。

本文就已經完成或正在進行的五項任務，一一加以介紹。

近地小行星任務(NEAR, Asteroid rendezvous)

近地小行星會合號(Near-Earth Asteroid Rendezvous, 簡稱NEAR)在1996年2月升空後，經過四年的飛行，於西元2000年2

月 14 日西洋情人節當天進入環繞愛神星 (Eros) 的軌道，成為這個小行星的人造衛星。在將近一年的時間裡，在離愛神星中心約兩、三百公里處全面探測這個小行星，傳回詳細的影像與數據，影像顯示愛神星外貌與天文學家預期的差不多，像一個狹長的馬鈴薯，長約三十三公里，寬與厚約十三公里，表面佈滿坑洞。近地小行星會合號最後在 2001 年 2 月 12 日 (情人節前兩天) 降落在愛神星表面，宛如《小王子》一書中或「星際大戰」影片中的情景。

愛神星是編號為 433 的小行星，位於地球與火星的軌道之間。軌道近日點為 1.13 天文單位，遠日點為 1.78 天文單位。一個天文單位是地球與太陽間的平均距離，大約是一億五千萬公里。

在與愛神星會合前，近地小行星會合號在 1997 年 6 月 27 日飛經 253 號小行星瑪瑟達 (Mathilde)，並順道拍攝其影像及光譜。

愛神星是第一個被全面而完整探測的小行星，已經建構了愛神星的動態立體影像，呈現愛神星的地形、地貌，自轉軸的位置、指向，以及自轉的速度與變動的種種訊息。也進一步瞭解愛神星的地質、光度與磁場等性質。

愛神星的外型像一個狹長的馬鈴薯，其長寬高大約是 33.6 公里 x 14 公里 x 14 公里，表面積約為 1125 平方公里。表面上有一個稱為修梅克 (Shoemaker) 的大坑洞，坑洞直徑約為十點六公里，位於「狹長馬鈴薯」的一端。

愛神星的整個表面都覆蓋著鬆散的碎

塊，及一層細密的塵土。「一次大撞擊將所有這類的殘塊拋射四散。」近地小行星會合號計畫中的成員之一，美國康耐爾大學的湯瑪斯 (Peter Thomas) 說：「這次觀測有助於解答小行星表面是如何形成現貌之類的問題。」湯瑪斯及其伙伴數算出整個愛神星表面比十五公尺大的石塊，共有 6760 個，而且將近一半都在修梅克空洞內。顯示一種可能性，愛神星上的碎石塊是源自單一隕石撞擊事件的拋射物。依據估計，這次撞擊可能發生在數十億年前。

學者專家想要進一步瞭解：「在愛神星表面所觀察到的力學機制，在其他天體中也有類似的過程嗎？」顯然須要未來廣泛的探測才能回答這個問題。

近地小行星會合號降落在愛神星表面上的過程屬於高難度。因為愛神星的表面重力很小，只有地球表面的千分之一。一個人只要用力一跳，就會跳進太空中。如果近地小行星會合號降落的衝擊力太大，又會改變了愛神星的原先軌道與地貌。近地小行星會合號降落的速度由時速三十多公里降至六公里，降落在一個馬鞍型凹地稱為希米駱斯 (Himeros) 邊緣處，此處有許多小圓石，但是「會合號」安全降落並傳回數據。

「會合號」在降落的過程中一直持續的拍攝著。美國航空暨太空總署也將最後三公里的降落過程中所拍攝到的影像，製成動態影片。最後一幅影像是在離表面約一百二十八公尺的高度所攝，整個視野寬約六公尺，可以分辨一個高爾夫球的大小，影像底部的直線條紋是著陸時的撞擊干擾了訊號的傳輸

使之中斷所造成的。

降落在愛神星上的「會合號」，靠著太陽能電板所提供的電力，使其中一個伽瑪射線譜儀運轉，精確的測出表層十公分內的原子核訊息，顯示愛神星表面的塵土中含有鐵、氧、矽、鉀等元素。

目前「會合號」的電源已經被關掉，從此這具小客車大小的探測船就安靜的停留在愛神星上，隨著繞太陽運行。

### 火星拓荒任務 (Mars Pathfinder)

火星恰如其名，像一顆火鑽閃耀在夜空中，常常吸引觀星者得眼光，看著它總有不祥的感覺。羅馬神話中稱它為戰神 (Mars)，我國古時則稱為「熒惑」，取其熒熒如火之意，而且有時亮得耀眼，有時並不起眼，令人迷惑。現在瞭解火星距離地球有時近有時遠，約每兩年有一次「火星大接近」，此時火星看起來非常明亮；地球離火星很遠時，火星看起來就暗淡許多，火星最亮與最暗的亮度差異可達二十五倍。火星土壤中含有大量的鐵銹，以及大氣中懸浮著顆粒極細的塵粒，使得火星看起來呈紅色。

義大利天文學家 Schiaparelli 在 1864 年注意到火星表面有一些條紋，他稱為河溝 (義大利文 canali)，但是英文報紙翻譯成運河 (cannals)，因此引起全球轟動，爭相觀測火星，希望發現火星人。有關火星運河與火星人的種種傳說，常被媒體過度渲染，也常是電視、電影的題材；在過去十年中，好萊塢就出品多部以火星人為題材的電影。

火星在某些方面與地球非常類似，火星上的一天是二十四小時三十七分鐘。火星自

轉軸傾角約二十四度，所以也有季節；在火星夏季時，極冠中的乾冰氣化使得冰帽的面積縮小。美國在 1960 年代開始以太空船探測火星，傳回火星表面遍佈坑洞的荒涼景象，也偵測到火星擁有稀薄的大氣，但大氣壓力只有地球的百分之一不到，大氣主要成分是占百分之九十五的二氧化碳。由於大氣稀薄，距離太陽又遠，因而火星表面溫度低，而且十分乾燥，環境並不適合生命生存，但許多天文學家仍然抱持著火星上存在低等生命的信念。

火星是個遍佈坑洞、峽谷、溝渠、岩石與火山的沙漠，其中有個最明顯的地貌是火星大峽谷。火星大峽谷長約四千公里，深度可達八公里，沿著火星赤道東西橫向蜿蜒，壯觀無比。在高解析度的影像中，可以看到其崩落、沈積等地形。其中的岩層顯示是由火山形成。顯示在火星早期，地質活動頻繁而複雜。在火星午後，太空船也偵測到有一層冰霧籠罩著火星大峽谷。

美國在建國兩百週年的 1976 年，曾經發射海盜一號與海盜二號兩艘太空船，進入環繞火星的軌道中，並分別在當年七月與九月降落兩艘子艇登陸火星表面，伸出鐵手刮起火星土壤，檢驗「是否有生命活動跡象」的實驗，卻沒有發現任何生命的跡象。雖然這次火星生命探測沒有任何肯定的結果，但是傳回大量影像與資料，讓科學家廣泛瞭解火星的地形與大氣的特性。

此後二十年間，火星只是一個遙遠的行星，只有天文愛好者關心它。但在一九九六年八月，美國總統宣佈在一塊編號

ALH84001 號的火星隕石中發現類似生命的化石，再度掀起全球對火星的興趣。這個隕石採自地球的南極大陸，具有與火星地質同樣的特徵，相信是火星在一千六百萬年前一次隕石撞擊事件中，被濺出火星的物質，歷經漫長的旅途，於一萬三千年前墜入地球成為隕石，一九八四年在南極冰原被發現，一九九三年發現它的特徵與十一塊來自火星的石頭類似。因此美國航空太空總署展開一序列無人太空船探測火星的計畫。

有關火星隕石，可參考讀者文摘中文版 1997 年 5 月號第 22 頁「火星證實有過生物」一文。

為了將來人類登陸火星作準備，美國航空太空總署分別從地球軌道中、火星軌道中、火星表面全方位探測火星的地形、岩石與大氣，藉以瞭解火星的地質結構與活動、季節變化與大氣情況。環繞地球的哈伯太空望遠鏡監測火星全球的天氣狀況，環繞火星的火星全球監測號則傳回火星表面地形、地貌的細節，配合探路者與漫遊者在火星表面的直接探測。在人類登陸火星以前，發射一連串無人火星太空船，全面探測火星地形、地質、氣象、等。

經過了二十一年後，火星拓荒者號 Mars Pathfinder ) 於一九九七年美國國慶日七月四日當天登陸火星。此次採用一種全新的登陸技術，拓荒者號被封在一個氣囊中，約在八千五百公里高度處與母艇分離墜入火星大氣，在高度九點四公里張開降落傘，在高度二十公尺時鬆開降落傘，氣囊自行下墜，撞擊火星表面後反彈，經過時幾次反彈（最高

達十幾公尺）後，靜止在火星表面。隨後氣囊排氣萎縮，封包開啟，拓荒者號本身成為探測站。並由地球遙控一輛長約六十公分、重約十一點五公斤的火星流浪號（Mars Sojourner robot rover）慢慢的駛出平台，以六個車輪駛入火星地表，在附近四處漫遊，探測登陸地點的地形、岩石與天氣。

為了紀念甫去世的天文學家卡爾 薩岡（Carl Sagan），美國航空太空總署將拓荒者號重新命名為薩岡站，它本身有一個鏡頭可以拍攝火星景物，此外還可以接收地球的指令遙控流浪號，並把探測火星的數據與訊息傳回地球。

由地球上發生洪水的經驗來看，洪水會帶來大量形狀不同、大小不同的石頭。分析由海盜一號與二號傳回來的影像，發現火星表面有被洪水氾濫過的跡象，其中火星赤道附近稱為戰神谷（Ares Vallis）的古老沖積平原，便極可能在火星的歷史中遭過洪水氾濫。拓荒者號登陸戰神谷平原傳回來的影像顯示一層紅色的塵土，散佈著大大小小、形狀與特性都不同的岩石，顯示曾被洪水氾濫過的跡象。其中也有一些與當地地質特徵相異的岩石，應該是由別處火山活動形成而落到此處的岩石。

到八月十四日止，流浪號在火星表面已經行走了約五十二公尺的路徑，傳回大量的資料與影像，並分析了部分岩石的組成。

繼拓荒者號之後，美國航空暨太空總署又發射一艘火星全球監測號（Mars Global Surveyor），在 1997 年 9 月 11 日進入環繞火星的軌道中，由高空詳細探測整個火星地形

的細節。美國計畫在 2004 年將漫遊車 (rovers) 送上火星表面，因此科學家積極研究火星的天氣與地貌變遷，希望能在火星天氣平穩的時候，登陸值得探查的地點。

### 月球探勘任務 (Lunar Prospector)

月球探測號 (Lunar Prospector) 充分反應探索計畫「小而美、快而廉」的特性。載具本身很小，成鼓狀，高與直徑分別為 1.4 公尺與 1.2 公尺；以及表面裝貼著太陽電池。另有三個長二點五公尺的桅柱安置儀器，以隔離載具本身。

月球探測號在一九九八年一月六日升空，環繞月球探測月球的重力與磁場。其中最重要的發現是月球南、北極區可能有大量的冰凍水，可以作為將來在月球建立太空站的使用。月球探測號在一九九九年八月一日執行自殺任務，從離月球表面三十公里高處、以時速約六千公里的速度撞毀在月球極區，希望在撞擊時激起水花。但是令科學家極為遺憾的，並沒有觀察到任何水花或塵霧的情形，留下月球極區是否有水的疑團。

另外，值得一提的是：月球探測號攜帶了一小罐「骨灰」。修梅克 (Shoemaker) 是美國著名的行星學家，也是第一位確認位於美國亞利桑那州的巨大坑洞是隕石撞擊造成的。他與業餘天文學家李維 (Levy) 共同發現的「珠串彗星」，最後撞擊在木星表面，引起轟動的「彗星撞木星」事件。修梅克在澳洲參加國際會議時，遭車禍去世。修梅克生前有一個願望，希望自己的骨灰能灑在月球上。美國航空暨太空總署為紀念他，特別在月球探測號安裝一小罐修梅克的骨灰，隨著

月球探測號撞擊在月球極區時，成全修梅克的心願。

### 星塵任務 (Star dust)

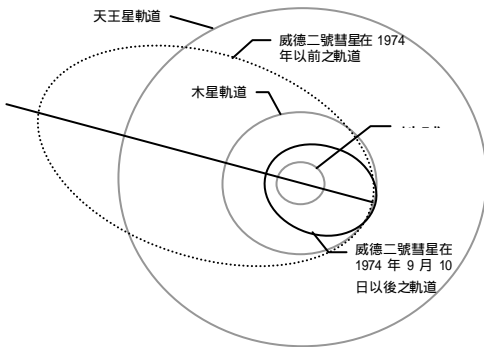
美國航空太空總署利用三角洲二號 (Delta) 火箭，在 1999 年 2 月 7 日將星塵號太空船送入環繞太陽的軌道中。正式啟動星塵任務 (Stardust) 的探測，預計星塵號將在 2004 年 1 月與威德二號 (Wild 2) 彗星交會，將全方位探測這顆彗星的種種特性，並採集彗星的物質樣本在 2006 年送回地球。星塵號將是第一個收集彗星塵尾樣品並送回地球的太空船，這項彗星樣本採集計劃耗資 2 億 1 千萬美元。

彗星，在古代是惡兆的象徵，不論中外都認為它會帶來戰爭、瘟疫、飢荒、。直到十七世紀，才瞭解彗星和行星一樣，只是繞行太陽的天體，也因此歐洲掀起搜尋彗星的熱潮，天文學家也開始探討彗星本身的性質。一切是如此和平與理性。但是發生了兩個天文事件，使得人類對彗星又有了「杞人憂天」似的煩惱。

首先是發生在一九九四年的彗星撞木星事件，全球在望遠鏡與電視螢幕前看著修梅克 - 李維九號彗星，如一長串的珍珠般連續撞擊在木星表面，激起蕈狀雲，極其壯觀。觀賞奇景之餘，也不禁要問：如果修梅克 - 李維九號彗星撞擊到地球的話。

1996 年 1 月 30 日發現的百武彗星，是一名副其實的大彗星，除了長彗尾引起全球的觀賞熱潮外。最主要的是它從發現到離地球最近，只有短短的七個星期多。如果百武彗星直向地球奔來，人類連應變的時間都來

不及。美國國會因此舉辦了一個聽證會，要求美國航空暨太空總署加強監測會靠近地球



的小行星或彗星。

彗星撞木星與百武彗星事件，讓天文學家與政客加緊注意監測靠近地球的天體。這種擔心天體撞上地球的憂慮有學術上的依據，科學家推估，發生在地球上的大撞擊事件，會導致地球上環境劇變，地球上的生物幾乎都會滅絕。好萊塢便依據這理論拍成「彗星撞地球」、「世界末日」等影片。「世界末日」還是一九九八年全美賣座冠軍，本片是由性格巨星布魯斯威利主演。

美國航空太空總署為了採集彗星物質樣本，提出星塵任務 (Stardust) 太空計畫。星塵號太空船在環繞太陽的軌道中運行，預計在二零零四年一月遭遇威德二號 (Wild 2) 彗星時全方位探測這顆彗星。以近距離、各角度拍攝彗星影像來建立彗核的三度空間模型，分析彗星的塵粒與揮發性氣體的成分。太空船上有個蜂巢狀鋁結構體，充填著空凝膠 (aerogel)，收集附在上面的塵粒樣本，並在二零零六年太空船與地球相逢時，將回收艙用降落傘送回到美國猶他州的沙漠中。

威德二號是一個有趣的彗星。它原來運行於木星與天王星之間，軌道遠日點在天王

星軌道之外。但是當它在 1974 年 9 月 10 日靠近木星時，被木星的重力吸引影響，改變了軌道，成為運行在火星與木星之間的彗星，而遠日點在木星軌道附近。(參看圖一)

威德二號彗星在 1978 年接近地球時，距離約一億八千萬公里 (1.21 AU) 時，保羅·威德 (Paul Wild) 在當年 1 月 6 日發現它。當它在 1997 年 2 月至 3 月間，距離地球約一億三千萬公里 (0.85 AU) 時，亮度為 12 星等。但是在 3 月時亮度變亮到 10.4 星等，顯示它仍然是一個非常活躍的彗星。它的彗核大小估計約為四公里。

星塵號太空船將在靠近威德二號彗星一百五十公里內通過，可以詳細觀測到比三十公尺小的細節。但是歐洲太空船喬陶號 (Giotto) 在一九八六年探測哈雷彗星時，以時速二十四萬六千公里通過哈雷彗星的尾巴，被彗星塵粒高速撞擊而晃動，當喬陶號回復穩定時，已經錯過拍攝哈雷彗星的最佳時機。科學家經由這個教訓，設計星塵號以時速兩萬兩千公里靠近威德二號彗星，加上威德二號彗星產生的塵粒比哈雷彗星少，因此科學家相信能夠拍攝到非常清晰的影像，足以顯示彗星的大小、形狀，甚至自轉的週期。

### 創世紀任務 (Genesis)

創世紀號 (Genesis) 太空船耗費兩億九百萬美元，在二〇〇一年八月由火箭送上太空，在九月進入預定的位置，將在三年中收集太陽風粒子，期望揭開類地行星的是如何形成的奧秘。從地球、月球、火星隕石樣本中，它們具有不同的組成，科學家無法解釋

在太陽系內層區域氧同位素的組成為何不同。也就是說，科學家不能確定類地行星是直接由原始太陽星雲中的塵埃物形成，還是由氣體與塵埃混合形成後再演化成現況。

創世紀號收集到的太陽風粒子，被帶回地球時，科學家可以檢測其成分，尤其是氧同位素、氮、碳與稀有氣體成分。

太陽風是由太陽表面所發出來的高速帶電粒子。因為太陽內部是氫融合反應區，將氫融合成氦，改變了原始組成的成分百分比。但是太陽外層、表面仍然保持了太陽原始的風貌，相信是四十六億年前由星際氣體與塵埃組成的原始太陽星雲之成分。

科學家無法直接捕捉太陽表面的成分，最好的方法是收集由太陽流出的物質。這些物質有不能太靠近地球，以致與地球的大氣成分混合。也不能太靠近地球的磁場，因為地球磁場會與帶電粒子互相作用，將它們偏離原先的環境。最好是在遠離地球磁場之外捕捉這些太陽風粒子。

地球與太陽重力平衡的位置稱為拉格蘭植點，其中位於太陽與地球中間的稱為第一拉格蘭植點（簡稱 L1）。如果太空船進入這個位置，將可以穩定的停留在這位置中。第一拉格蘭植點位於太陽與地球的連線上，距離地球一百多萬公里處，遠在地球磁場勢力之外，是收集太陽風粒子樣本的理想地點。

當創世紀號太空船進入環繞第一拉格蘭植點以後，將打開收集器，開始收集太陽風粒子，預計可以收集到重約十萬分之一至十萬分之二公克的樣本。然後，創世紀號返回地球，預定在二〇〇四年四月返抵地球大氣

層之外，其中太空艙與易碎的載貨將藉助特製的降落傘乘風而下，在美國猶他州的沙漠中，由直昇機在空中捕捉。這些樣本將是第一批由月球之外所收集到的「非地球物質」。

創世紀計劃由美國加州理工噴射實驗室（Jet Propulsion Laboratory）負責，而由美國洛克希德-馬丁太空中心（Lockheed Martin Astronautics）負責太空載具與系統統合。

美國的「太空探索計劃」中的每個子計劃，雖然小，卻仍保有創新與科學價值的內涵，可以作為台灣的參考。對台灣來說，探索計劃中的任何一個子計劃都是相當大的計劃，但是我們可以學習探索計劃的精神與作法，將有限的經費與人力集中在可行性的科學計劃上。

美國航空暨太空總署將「探索計劃」中所有的子計劃都建立了詳盡的網頁：

有關 近地小行星任務之網頁為

<http://near.jhuapl.edu/>

有關 火星拓荒任務之網頁為

有關 月球探勘任務之網頁為

<http://lunar.arc.nasa.gov/>

有關 星塵任務之網頁為

<http://stardust.jpl.nasa.gov/>

有關 創世紀任務之網頁為

<http://www.genesismission.org/>

有關 深擊任務之網頁為

<http://www.ss.astro.umd.edu/deepimpact/>

有關 彗核任務之網頁為

<http://www.contour2002.org/>

有關 水星任務之網頁為

<http://messenger.jhuapl.edu/>