

## 跨越星辰的腳印—阿波羅與阿提米絲計畫

「我的一小步，是人類的一大步。」這是尼爾·阿姆斯壯（Neil Armstrong）在1969年7月20日踏上月球表面時，對全世界發出的莊嚴宣告。這一小步，不僅是太空探索史上的里程碑，更是人類文明膽識與工程智慧的巔峰。它證明了，只要擁有足夠的決心和創新，沒有什麼目標是遙不可及的，而這個腳印，在合理的推算下，也將存在數百萬年。

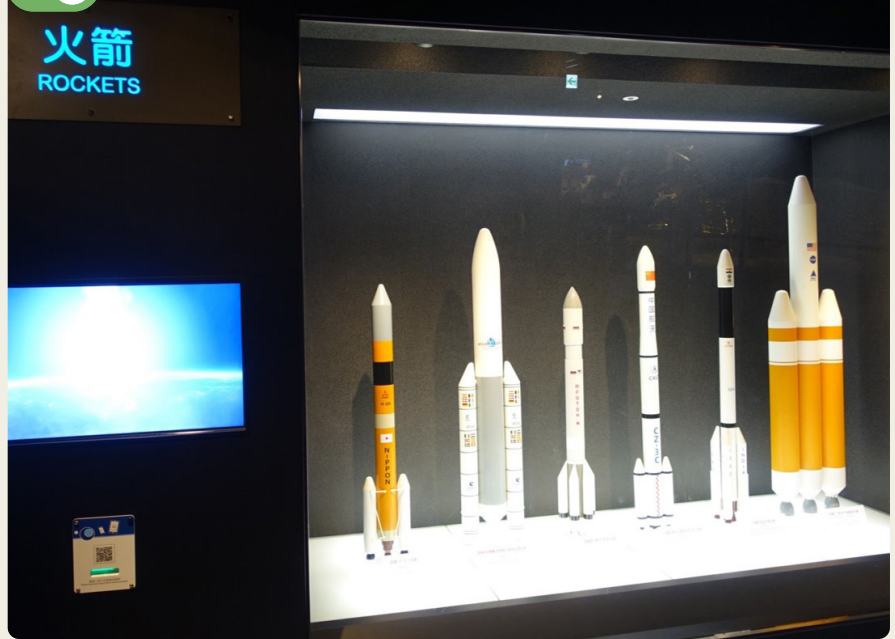
文／許晉翹



阿姆斯壯登陸月球時拍攝的隊友巴斯·艾德林（Buzz Aldrin）與月面景觀。圖片來源：NASA

展示場內的模型——無論是靜立的登月艙、馳騁的月球車，還是無畏的太空服，都代表著無數科學家、工程師和太空人為實現這「一大步」所付出的跨世紀努力。在這片模擬的月球景觀前，讓我們穿越時空，重溫那段輝煌的阿波羅歲月，並展望未來由阿提米絲計畫所開啓的新篇章，如圖1、圖2。

圖 1



展示場的多種火箭模型

圖 2



展示場內的登月任務相關模型，由左至右分別為登月艙、太空服、月球車。

## 阿波羅時代 人類對月球的初次擁抱與挑戰

在二十世紀六零年代的太空競賽中，美國啟動了阿波羅計畫，目標是將人類送上月球並安全返回。這是一項前所未有的超級工程，當時，人類需要克服地

球的強大引力、穿越數十萬公里的太空，並在一個陌生天體上精確著陸。該計畫的火箭高達111公尺，在阿提米絲計畫之前，是史上最強大的運載工具。它的設計必須確保能夠將重達數十噸的太空載具組合體（指令艙、服務艙和登月艙）送入地月轉移軌道。農神五號的成功，代表著人類工程學在液態燃料火箭推進技術上的極限突破，如圖3、圖4。

圖 3



在暮色中準備發射的農神五號火箭。影像來源：NASA

4



組裝完成後，正運往發射臺途中的農神五號火箭。影像來源：NASA

一旁的登月艙模型，如圖5，是阿波羅任務成功的關鍵。它結構輕盈、外觀看似脆弱，卻是唯一能在真空月球環境下獨立起降的載具。它分為兩個部分：下降級作為著陸緩衝和地面工作平台，而頂部的上升級則肩負著兩位太空人脫離月球、返回地球軌道的工具，如圖6。事實上在阿波羅11號登月成功的當下，差點因為一個小零件而失敗，當太空人阿姆斯壯和艾德林（Buzz Aldrin）準備啟動上升引擎離開月球時，艾德林發現一個關鍵的無熔絲開關被意外弄斷了。這個開關負責將電力輸送到上升引擎的點火線路，如果無法閉合，引擎便無法啟動，他們將永遠被困在月球，尼克森總統的文膽也確實準備了一份備用的月球災難演講稿，內容包含了宣告殉職、歌頌英雄、人類團結及最後的祝禱，不過好在這份未發表演說稿最終並沒有成真，也因此被鎖進了國家檔案館成為了歷史。

圖 5



展示場的登月艙模型

圖 6



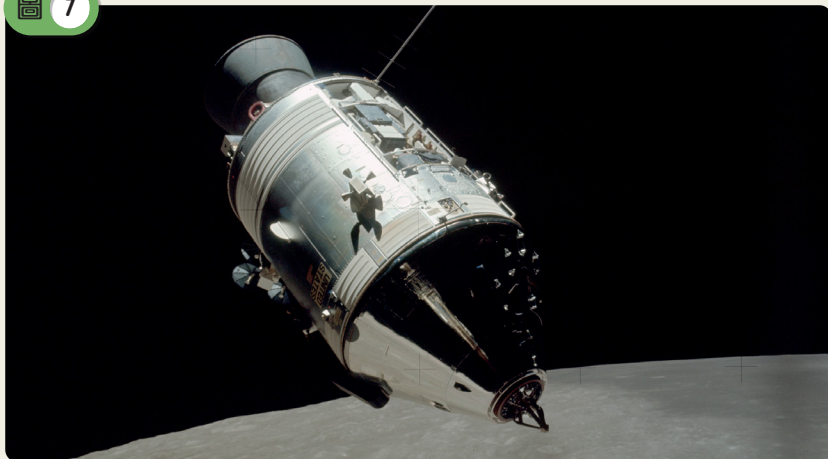
阿波羅11號任務中，從指令艙上所看到，正緩緩離開準備進入登月最後航程的登月艙。影像來源：NASA

## 月球車與太空服 月面移動與生存的關鍵

阿波羅11號中，唯一沒登月，也終身未參與後續登月任務的指令艙駕駛員柯林斯（Michael Collins）的故事則充滿了孤獨。當他的兩位同伴在月球表面活動時，柯林斯獨自駕駛著指令艙在繞月軌道上航行，如圖7，每當指令艙繞到月球背面時，他會經歷一段長達47分鐘的「通訊截段」期，與地球及同伴完全失聯，因此他也在當時被形容為「自亞當以來最孤獨的人」。在任務結束後，他也婉拒了擔任後續任務（阿波羅17號）指揮官的工作，他在1970年離開美國航太總署，成為了美國國家航太博物館的第四任館長，任職服務8年。

太空服不僅僅是一件衣服，它是一個功能齊全，可獨立運作的微型太空船，在月球真空、極端溫差（從120°C到-150°C）和強輻射的環境下，太空服必須提供氧氣、壓力、溫控、輻射防護，以及清除二氧化碳的能力，如圖8。此外，月球塵土是一種由微小、鋒利玻璃狀顆粒組成的物質。它對人類和設備都有極大的威脅，當時並沒有針對此狀況設計太空服，不過活動時間不長並沒有很大的影響。因此，未來的太空服必須能更好地抵禦這種塵土，這是阿提米絲計畫必須克服的關鍵挑戰。

圖 7



從登月艙上級所看到，航行在繞月軌道上的指令/服務艙，圓錐狀的上級為指令艙，圓柱狀的下級為服務艙。影像來源：維基百科

圖 8

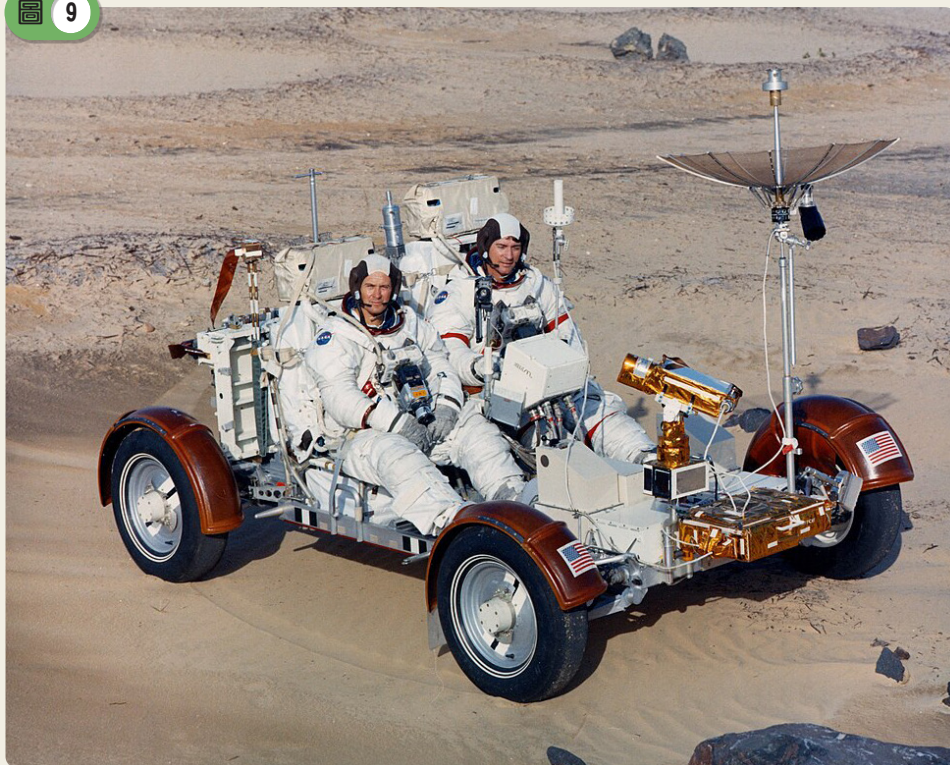


阿姆斯壯在任務開始前，練習如何穿著太空服進行月面樣本採集與回收作業。影像來源：NASA

從阿波羅11號到14號，太空人主要是靠步行，活動範圍有限，因此採集到的樣本數量相對較少，三次（其中13號失敗）加起來不到100公斤。一旁的月球車，在阿波羅15號任務後開始使用，如圖9、圖10，太空人的活動半徑大幅增加，能夠前往更遠、地質更多樣化的區域進行採集，這使得後續任務帶

回的樣本數量顯著提升：15至17號帶回的月岩樣本共計281.4公斤。月球車採用輕量化鋁合金骨架、可折疊設計，能夠塞入登月艙的狹小空間，配備了獨特的網狀輪胎增加抓地力，以適應月球鬆軟的沙土和凹凸不平的岩石，並由獨立的電動機驅動，它的成功運作證明了人類載具在太陽系其他天體上運行的可行性。

圖 9



阿波羅16號任務的太空人，在地球上練習如何駕駛月球車。影像來源：National Aeronautics and Space Administration

圖 10



阿波羅16號任務的太空人，實際在月球上駕駛月球車。影像來源：NASA

## 阿提米絲計畫 重返與永續的未來

在阿波羅計畫於1972年結束之後，人類對月球的探索進入了長達半個世紀的沉寂。如今，一項雄心勃勃的阿提米絲計畫（Artemis Program）已經啟動，它不僅是要重返月球，更是為了在月球上建立永久存在，並將月球作為前往火星的跳板。與阿波羅計畫直接登月類似之外，阿提米絲計畫還將在月球軌道上建造一個永久的小型太空站——「門戶」（Gateway）太空站，如圖11，它將成為往返月球表面以及未來前往更深遠太空的中轉基地。

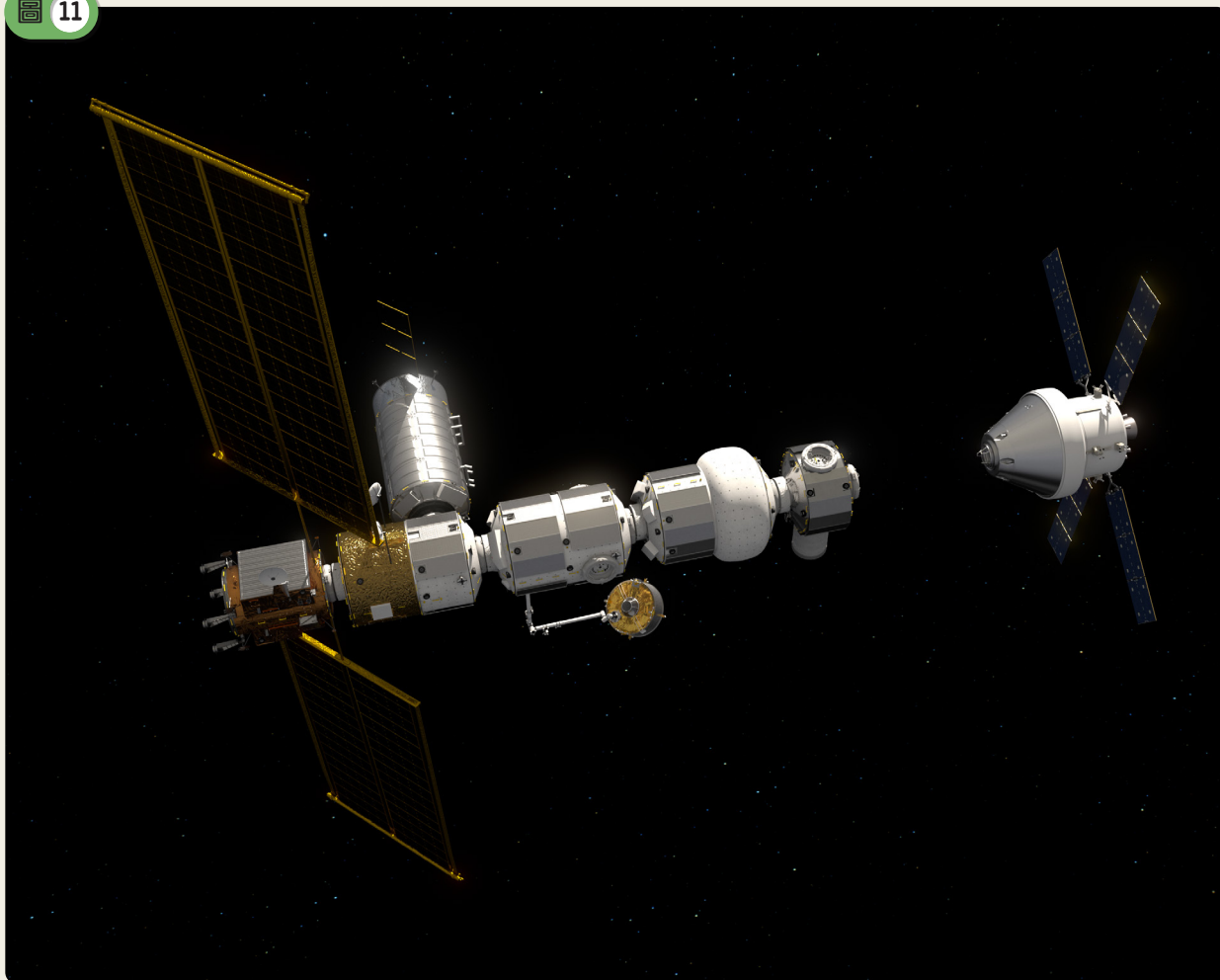
阿提米絲計畫的著陸點也將不再是阿波羅任務的赤道區域，而是月球的南極地區。科學家認為，在南極永恆陰影中的隕石坑內，可能蘊藏著大量的

水冰，水冰是人類在太空中建立永續基地的關鍵資源，因為它可以分解成氧氣（用於呼吸）和氫氣（用於火箭燃料）。「阿提米絲」是希臘神話中太陽神阿波羅的雙胞胎姊姊，這象徵著在阿提米絲計畫中，人類將首次送女性太空人踏上月球，體現了太空探索對性別和種族的開放與包容。

阿波羅計畫是冷戰時期的「競賽」，但阿提米絲計畫則是為了「永續」和「合作」。它要求人類克服更複雜的工程挑戰，包括長時間的太空輻射防護、月球資源利用技術、以及新型太空服的研發。阿波羅11號阿姆斯壯在月面留下的第一道腳印，到未來阿提米絲太空人腳下更現代的登月艙和月球車，人類對未知宇宙的探索從未停歇。

許晉翊：臺北市立天文科學教育館

圖 11



阿提米絲任務中，搭載太空人的獵戶座號太空船，正準備與在繞月軌道上的月球門戶太空站進行對接的想像圖。圖片來源：ESA