

中共發射嫦娥五號探測器月球採樣返回的戰略意義

應紹基

前中山科學研究院顧問



一、緒言

2020年11月24日凌晨4時30分，中共嫦娥五號探測器搭乘長征五號火箭、從海南文昌航太基地成功發射升空，踏上「著陸月球、採取月壤、返回地球」的往返旅程。

中共的探月工程——「嫦娥工程」係一個構想龐大的計畫，涵蓋了「無人探月」、「載人登月」與「長久駐月（建立月球基地）」3個階段（簡稱「探、登、駐」三大步驟），依序按照規劃逐步推進，將歷時數十年才能完成。

目前中國正在進行的是「無人探月」項目，分為「繞」、「落」、「回」三個階段依序進行，合稱為「小三步」（或「三步走」）。具體任務目標與已有成果是：實現環繞月球探測——已由嫦娥一號探測器執行；實現月球表面軟著陸和自動巡視勘察——已由嫦娥二號、三號與四號探測器陸續完成；實現無人採取月壤與飛回地球——由嫦娥五號探測器在這次飛行任務來實現。

本文將先說明「嫦娥五號」採樣返回的任務過程與成果，再進而剖析中共發射「嫦娥五號」的戰略意義。



附圖一 中共探月工程的標誌，顯示著中共探月計畫的目標與理想：它以毛筆書法的筆觸，抽象地勾勒出一輪圓月，一雙腳印踏在其上，象徵著中共探測月

球的終極雄心；圓弧的起筆處自然形成龍頭，象徵中共航太如巨龍騰空而起；落筆處飛翔著一群白色的和平鴿，表達出中共和平利用太空的美好願望。（圖源：國防科工委月球探測工程中心，設計人：顧永江設計師）

二、嫦娥五號探測器「著月、採壤、返回」的任務飛行模式

全球共有 6 個主要航太國家——美國、蘇聯／俄羅斯、中共、歐盟、日本與印度，只有美國與蘇聯曾進行過「著月、採壤、返回」任務。

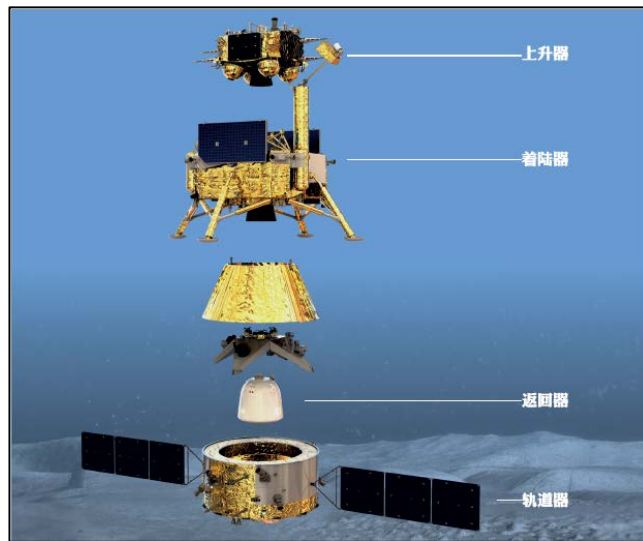
1969 年至 1972 年間，美國阿波羅計畫，先後共成功進行了 6 次載人太空船登月任務，12 名太空人登上月球，共採取與帶回了 381.7 公斤的月壤樣品。1970 年、1972 年與 1976 年，蘇聯發射的月球 16 號、20 號、24 號（Luna 16、20、24）無人探測器，以自動採樣方式自月球共採得 301.1 公克月壤返回地球。美國與蘇聯分別進行的係有人與無人「著月、採壤、返回」，兩者的任務飛行模式因而迥然不同。

蘇聯月球探測器採取月壤任務採用簡單的飛行模式。蘇聯發射的月球探測器軟著陸於月球，其採集系統自動採取月球土壤貯藏於上升級的返回艙後，上升級點火飛離月球，返回艙與上升級在月球太空分離後攜帶月壤飛回地球，降落於蘇聯境內回收月壤。

美國阿波羅計畫載人登月任務採取稱為「月球軌道交會（Lunar Orbit Rendezvous）」的任務飛行模式。載人登月太空船由母船（由指揮艙與服務艙組成）與較小的二級式登月器（two-stage lander，上面級與下面級組成）4 大主件整合而成，以一枚運載火箭將搭載 3 名太空人的太空船送至月球太空，母船環繞月球軌道運行後，2 名太空人搭乘登月器降落月球表面，進行探勘與採取月壤後，太空人搭乘登月器的上面級飛離月球，與環月軌道的母船交會對接後，太空人攜帶月壤返回母船並拋棄上面級，3 名太空人與月壤搭乘母船的指揮艙飛返地球。

中共航太科研人員經過縝密的研析與論證後，嫦娥五號探測器月球採樣返回任務、沒有採用蘇聯無人探測器採取月壤的簡單飛行模式，反而採取美國載人太空船飛返地球的「月球軌道交會」複雜飛行模式。「嫦娥五號」係無人探測器，為何採用如此複雜的「月球軌道交會」飛行模式呢？因為中共航太科研人員深切瞭解其航太科技能量的實力，利用此次任務飛行模式不僅可驗證其「著月、採壤、

返回」的相關技術，並且可向國人、其他航太國家與全球展現航太科技的實力。



附圖二 嫦娥五號探測器由圖示的4項主件整合而成。(圖源：國家航天局)



附圖三 4項主件整合而成的嫦娥五號探測器（白色支架座上方）通過測試，即將裝入運載火箭頂端的整流罩內，擇機發射。(圖源：中國航太科技集團)

三、嫦娥五號探測器的任務歷程

嫦娥五號探測器由軌道器、返回器、著陸器、上升器 4 大艙段組成（類似美國阿波羅計劃載人登月任務的載人登月太空船與登月器），發射質量達 8.2 噸，必須利用中共目前推力最大的長征五號火箭發射才能直接送入地月轉移軌道。嫦娥五號月球探測器的著陸地點為月球正面風暴洋（Oceanus Procellarum）的呂姆克山（Mons Rümker），位於月球正面西北部（月面座標為北緯 40.8°、西經 58.1°），是人類探測器尚未造訪過的處女地，計畫將採取約 2 公斤的月球土壤與岩石返回地球。

嫦娥五號探測器的「著月、採壤、返回」任務往返共 23 天，歷經 11 個階段，簡要說明於下：

1、發射入軌階段——2020 年 11 月 24 日 4 時 30 分，「嫦娥五號」由長征五號運載火箭自文昌航太發射場發射，展開「著月、採壤、返回」的往返旅程。

2、地月轉移階段——火箭飛行約 2200 秒鐘後，「嫦娥五號」與火箭分離，展開太陽能板，然後進入近地點 200 公里、遠地點 41 萬公里的地月轉移軌道飛往月球太空。為了確保「嫦娥五號」按照預定軌道順利到達近月點，11 月 24 日 22 時 06 分與 25 日 22 時 06 分先後進行了 2 次軌道修正。地月轉移段飛行時間約 112 小時。

3、近月制動與環月飛行階段——11 月 28 日 20 時 58 分，「嫦娥五號」在軌道近月點成功實施「剎車」制動，順利進入環月軌道飛行；11 月 29 日 20 時 23 分，再次實施制動，進入距離月面約 200 公里的近圓形環月軌道飛行。

4、「軌道返回組合體」與「著陸上升組合體」分離階段——11 月 30 日 4 時 40 分，運行於環月軌道的「嫦娥五號」於飛行到「動力下降初始點」時，完成「軌道返回組合體（軌道器+返回器）」和「著陸上升組合體（著陸器+上升器）」的分離。「軌道返回組合體」繼續環月飛行，等待上升器回來。

5、著月下降階段——「著陸上升組合體」從「下降初始點」開始進行月面軟著陸，經過主減速段、接近段、懸停段、避障段、緩速下降段和自由下落段等的動力下降，自主尋找合適的月面完成軟著陸，整個著陸下降的過程持續約 15 分鐘左右，於 12 月 1 日 23 時 11 分在月球正面西經 51.8 度、北緯 43.1 度附近的預選著陸區成功軟著陸，並傳回著陸影像圖。

6、月面工作階段——嫦娥五號任務係以無人自主的方式進行樣品採集，先後以「鑽取採樣」與「鏟取採樣」方式進行，分別採取月面以下與月面的土壤。12 月 2 日 4 時 53 分，「嫦娥五號」的「著陸上升組合體」完成了月球「鑽取採樣」及封裝；12 月 2 日 22 時，完成月球表面「鏟取採樣」及封裝。

7、月面上升階段——12月3日23時10分，上升器經過垂直上升、姿態調整和軌道射入，重回環月軌道飛行，實現了中共首次地球外天體（簡稱「地外」）起飛。

8、交會對接與樣品轉移階段——從上升器進入環月飛行軌道開始，通過遠端導引和近程導引技術，上升器與「軌道返回組合體」於12月6日5時42分逐步完成交會對接，並於6時12分上升器中存放的月球樣品通過軌道器轉移到返回器中。

9、環月等待階段——12月6日12時35分，「軌道返回組合體」成功與上升器分離，進入環月等待階段；在環月等待段飛行過程中，軌道返回組合體進行一次軌道維持，等待月地入射視窗的到來，做好返回地球的準備。12月8日6時59分，飛行於環月軌道的上升器受控墜落月面。

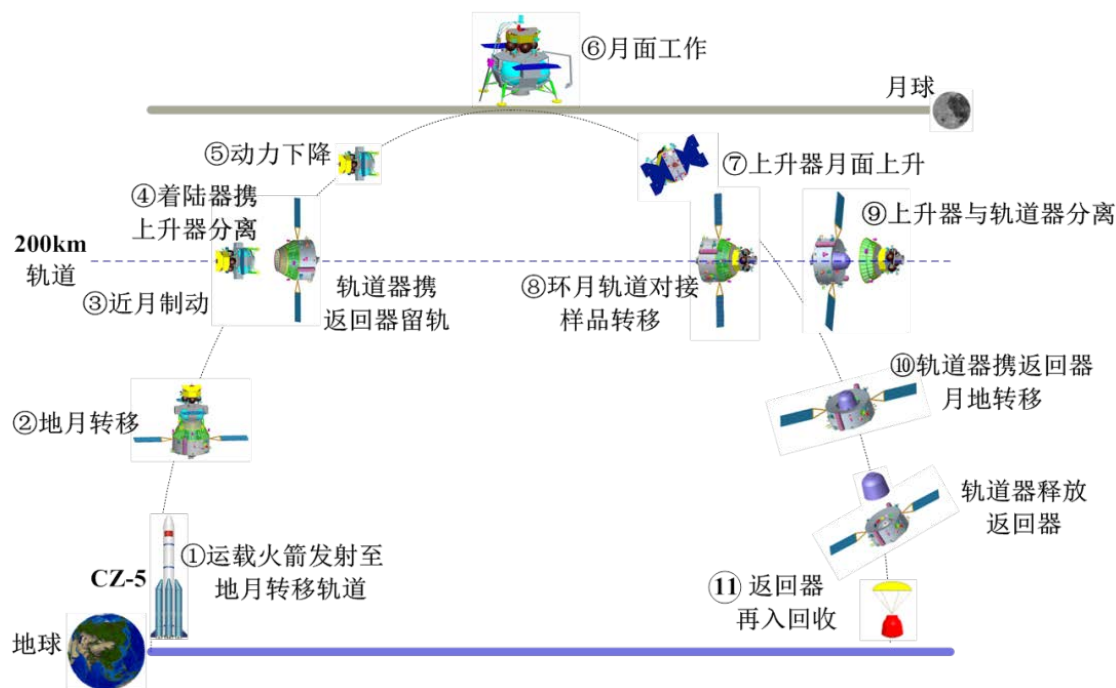
10、月地轉移階段——12月12日9時54分，「軌道返回組合體」帶著月壤實施第一次月地轉移入射；12月13日9時51分，實施第二次月地轉移入射；12月14日11時13分，完成第一次月地轉移軌道修正；12月16日9時15分，完成第二次月地轉移軌道修正；軌道器在「軌道返回組合體」距地球約5000公里時與返回器分離，進行規避機動後飛往距離地球約150萬公里的日地拉格朗日L1點（Lagrangian point, L1），軌道器返回地球。

11、再入回收階段——12月17日凌晨，返回器依序經過慣性滑行、地球大氣再入、傘降著陸3個階段，才能完成最後的降落回收。再入時返回器首先以第二宇宙速度（11.2公里/秒）飛向地球，在進入地球大氣後，通過「半彈道跳躍式再入返回技術」重新跳出大氣層，實現減速；返回器再以第一宇宙速度（7.9公里/秒）返回大氣層，以其鈍頭端（直徑較大的弧形面）迎向大氣進行阻力減速降落，最終返回器打開降落傘，凌晨1時59分安全地在內蒙古四子王旗預定區域成功著陸。至此，嫦娥五號探測器的「著陸月球、採取月壤、返回地球」航太任務，順利圓滿完成。

由上述嫦娥五號探測器的任務歷程可知：「嫦娥五號」採取了蘇聯探測器無人採取月壤，與美國載人登月往返的混合任務模式，其複雜性與困難性更甚於美國載人登月往返，但中共圓滿達成了，驗證了其相關技術與展現了其航太實力，贏得大陸民眾與全球媒體的掌聲與讚揚。

嫦娥五號探測器自月球採回1731公克的月壤，圓滿完成任務，使中共成為自1970年代以來首次取回月球地壤的國家；也是繼美國和蘇聯之後，全球第三

個實現「著月、採壤、返回」的國家。



附圖四 「嫦娥五號」飛行模式的 11 個階段示意圖。(圖源：國家航天局)

四、「嫦娥五號」實現了中共航太史上的四項「首次」

中共自 2007 年發射嫦娥一號、二號、三號與四號探測器後，發射探測器飛往 384,400 公里外的月球，與探測器進行環繞月球探測、月面軟著陸及自動巡視勘察等操作，已是經驗豐富，駕輕就熟了。嫦娥五號探測器的「著月、採壤、返回」任務必須在已有的經驗上，創新下列 4 項「首次」的航太操作才能成功：1、在地外天體進行採樣與封裝作業；2、自地外天體進行點火起飛與精確入軌；3、月球軌道無人交會對接和樣品轉移；4、攜帶樣品以第二宇宙速度返回地球降落於預定著陸場。分別將這四項「首次」概略說明於下：

●上升器在月球表面自動採樣

「嫦娥五號」由軌道器、返回器、著陸器、上升器 4 部分組成，軟著陸月面的是「著陸上升組合體（著陸器+上升器）」。上升器具備 4 項採樣工具：表取採樣裝置、鑽取採樣裝置、表取初級封裝裝置和密封封裝裝置。

「著陸上升組合體」在月面著陸備便後，上升器使用兩種方式採樣：一種是「鑽取」——以鑽具鑽入月面採取約 2 公尺深的月壤岩芯，得到深層樣品的層理資訊；另一種是「表取」——以機械臂（臂桿長 3.7 公尺由數十個關節組成）在

月球表層和次表層採集月壤，實現多點、多次採樣。共將採集約 2000 公克的月壤樣品，並將樣品封裝進上升器的容器中，待所有樣品裝入容器後，將蓋體鎖緊的同時進行高真空密封。

由於著陸器配置了降落相機、全景相機、月壤結構探測儀、月球礦物光譜分析儀等多種有效載荷，能夠先進行月面形貌及礦物成分探測與研究、月球淺層結構探測，與採樣區地下月壤結構分析判斷，為採樣提供參考資訊。

由於月球引力只有地球的 1/6，在這種低引力環境下鑽孔、鏟挖、把樣品封裝進上升器容器，作業技術要求極高；加上採樣動作多，工序複雜，並在探測器的測控、光照條件、月面高溫（超過 100 攝氏度）等約束下進行，操作甚為困難，不確定因素多。上升器歷時約 19 小時順利完成自動採取月壤任務。

嫦娥五號採集的樣品，將被用來研究月球的起因和演化，以及更精準地確定地球、火星和水星等行星的年代。



附圖五 「嫦娥五號」的上升器與著陸器著陸月球後，在月面採樣作業示意圖。(圖源：國家航天局)

●自地外天體進行點火起飛與精確入軌

載有月壤的上升器必須自月面點火起飛，飛往與運行於環月軌道的「軌道返回組合體（軌道器+返回器）」交會對接，才能返回地球。

上升器的「發射（起飛）窗口」是根據「著陸上升組合體」的位置，和環月軌道上「軌道返回組合體」的飛行位置，以及上升器最省燃料的飛行路線，綜合計算出來的。不同於地面發射，在月面起飛的發射窗口期很短，起飛時機十分重要。

12月3日23時10分，上升器以著陸器為發射平台先點燃3000牛頓（「牛頓」係推力的單位）發動機，緊接著20台姿態控制發動機啟動，氣流反推，質量800公斤的上升器騰空而起，21台發動機互相配合，為上升器提供動力、控制方向、調整姿態，飛行約6分鐘後，上升器進入近月點約15公里、遠月點約180公里的交會對接初始軌道，順利實現了首次自地外天體起飛與進入環月軌道。然後陸續實施四次軌道機動，最終導引至高度為210公里的環月圓軌道上。

月面發射殊異於地球表面的發射作業。地面發射有完備的發射塔架系統和大型的火箭尾焰導流槽；上升器從月面起飛，作為起飛平臺的著陸器不可能配置導流槽，並且3000牛頓發動機的噴管距離著陸器頂板只有20公分，但著陸器的頂部巧妙地設計了一個小型導流錐，在這20公分的空間內將尾焰匯排出去。

考慮到38萬公里的地月距離帶來的信號時延，在3000牛頓發動機點火的第二秒鐘，上升器的導控系統開始進行飛行控制，在導控系統的調控下，各型發動機和星敏感器、陀螺儀等互相配合，上升器自主地完成整個起飛與入軌過程。



附圖六 上升器在月面完成採樣與封裝後，自上升器發射升空的瞬間。（圖源：月球探測工程中心）

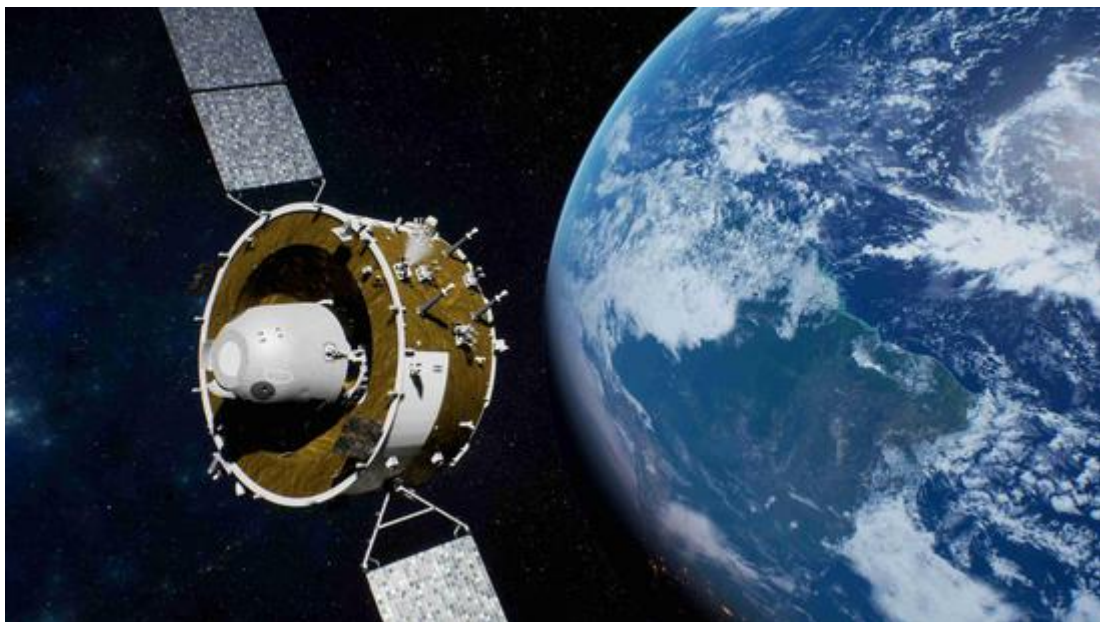
●月球軌道無人交會對接和樣品轉移

中共載人航太工程任務中，曾有多次太空飛行器交會對接的紀錄，但皆是在距離地球約 400 公里軌道上實現的。這一次，上升器與「軌道返回組合體」要在距離地球 38 萬公里外的環月軌道上進行無人交會對接，所面臨的環境條件大不相同：引力僅為地球表面的 1/6，月球軌道沒有衛星導航等服務資源，微波通信是中遠距離的唯一手段等。此外，由於「軌道返回組合體」係自後方飛來與上升器交會對接，前者質量達 2000 公斤，後者只有 800 公斤，將是體量相差巨大的「大追小」複雜受力過程，因而不能採用一定速度的碰撞式對接，而必須在兩個太空飛行器相對速度為零的狀態下進行對接，這對太空飛行器的姿態、控制等提出了更高要求。要克服這些困難，必須採用高精準度的微波雷達（由雷達主機和應答機組成，分別安裝在「嫦娥五號」的軌道器和上升器上），進行交會對接的終段導引與控制。

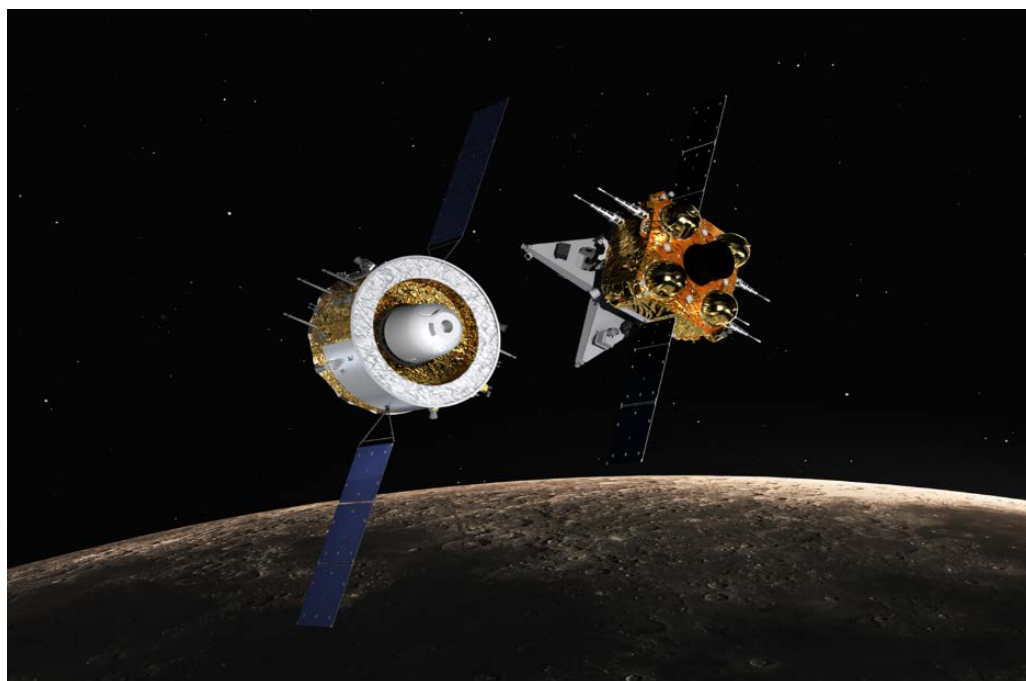
上升器進入環月飛行軌道後，通過遠端導引和近程自主控制，「軌道返回組合體」逐步靠近上升器，當兩者相距約 100 公里時，微波雷達開始工作，不斷為導航控制分系統提供 2 個太空飛行器之間的相對運動參數，並進行雙向通信，2 個太空飛行器根據雷達信號調整飛行姿態與速度，直至軌道器上的對接機構捕獲、並以「抱爪式」弱撞擊對接機構鎖定上升器。

12 月 6 日 5 時 42 分，「軌道返回組合體」與上升器完成完美的交會對接，6 時 12 分月球樣品容器從上升器安全轉移至返回器中，繼而返回器艙蓋順利關閉。接著「軌道返回組合體」與上升器分離，進入環月飛行等待。12 月 8 日 6 時 59 分，上升器按照地面指令受控離軌，7 時 30 分左右降落在月面經度 0 度、南緯 30 度附近的落點。

就目前全球已執行過的太空飛行任務而言，只有美國阿波羅載人登月任務實施過太空飛行器在月球軌道交會對接；但無人太空飛行器在 38 萬公里外的月球軌道進行交會對接，這是人類航太史上的第一次！



附圖七 上升器與「軌道返回組合體」在環月軌道進行無人交會與對接。「軌道返回組合體」自後方飛來與上升器交會對接，由於係體量相差巨大的「大追小」複雜受力過程，因而必須在相對速度為零的狀態下，「軌道返回組合體」以「抱爪式」弱撞擊對接機構鎖定上升器。(圖片來源：國家航天局)



附圖八 「軌道返回組合體」與上升器完成交會對接，將月球樣品容器從上升器安全轉移至返回器後，與上升器分離，進入環月軌道飛行，等待飛返地球。

(圖片來源：國家航天局)

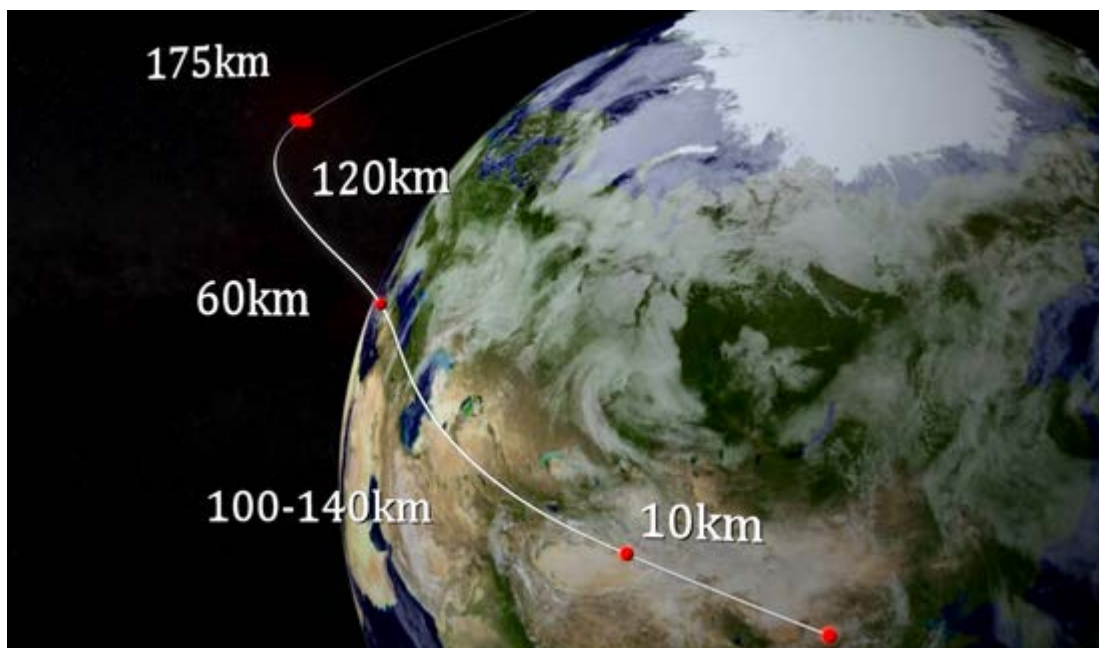
●攜帶樣品以第二宇宙速度返回地球降落於預定著陸場——「軌道返回組合體」經歷了約 6 天的環月軌道飛行，於 12 月 12 日 9 時 54 分實施了第一次月地轉移入射，從近圓形軌道轉進近月點高度約 200 公里的橢圓軌道；13 日 9 時 51 分於距月面 230 公里處實施了第二次月地轉移入射，約 22 分鐘後，「軌道返回組合體」成功進入月地轉移軌道。14 日 11 時 13 分，「軌道返回組合體」順利完成第一次月地轉移軌道修正。16 日 9 時 15 分，順利完成第二次月地轉移軌道修正，繼續飛往地球太空。12 月 17 日 1 時 12 分，「軌道返回組合體」在距南大西洋海平面高約 5000 公里處解鎖分離，軌道器進行規避機動後啟程飛往距離地球約 150 萬公里的日地拉格朗日 L1 點，進行環繞飛行並展開探測試驗，返回器攜帶月壤飛返地球回收。

多年來，中共先後曾從近地球軌道回收過 20 餘顆返回式衛星、11 艘神舟系列太空船和 1 艘新一代載人太空船，但它們皆係自近地軌道約以第一宇宙速度（7.9 公里/秒）返回地球，而這次則是自月地轉移軌道以第二宇宙速度（11.2 公里/秒）返回地球。以第二宇宙速度進入大氣層，高速摩擦將在返回器表面產生 3000 攝氏度的高溫，熱量急劇提升為返回器帶來焚燬的危險。要讓返回器安全順利返回地球必須降低其飛行速度與妥善予以高溫防護。為此，中共航太專家控制返回器採用「半彈道跳躍式再入」返回——返回器先以接近第二宇宙速度的高速進入大氣層，再借助大氣層提供的升力躍出大氣層減速，然後再以第一宇宙速度進入大氣層返回地面——返回器就像在太空中「打水漂」。「半彈道跳躍式再入」返回也稱為「升力式再入 (lifting re-entry)」返回，它以緩和減速過程與延長能量轉換時間，使最大制動過載減小和熱流峰值降低。

12 月 17 日 1 時 33 分，嫦娥五號返回器在距地面高度約 120 公里處，以接近第二宇宙速度高速進入地球大氣層，實施初次氣動力減速；下降至預定高度（60 公里）後，返回器向上躍出大氣層，到達最高點（100-140 公里）後開始滑行下降；之後，返回器再次進入大氣層，實施二次氣動減速飛向地面。在降至距地面約 10 公里高度時，雖已達到穩定的下降速度，但其速度仍高達 150~200 公尺/秒，仍必須進一步降低著陸的下降速度。至此返回體的緩降回收系統開始作業——逐級展開一系列的降落傘保持姿態穩定下降，1 時 59 分返回器在內蒙古四子王旗預定區域成功著陸，嫦娥五號圓滿達成「著月、採壤、返回」的任務。

（中共曾於 2014 年 10 月 24 日發射嫦娥五號 T1 飛行試驗器，繞月飛行後返回，驗證「嫦娥五號」返回器從月球太空以第二宇宙速度、採用「半彈道跳躍

式再入」返回地球的過程，在地球大氣層邊緣「打水漂」、「降速」後成功降落於著陸場地面。）



附圖九 返回器以第二宇宙速度飛向地球，在進入地球大氣時，先通過「半彈道跳躍式再入返回技術」重新跳出大氣層實現減速，再以第一宇宙速度返回大氣層（有如在太空中「打水漂」），飛向預定的著陸區。本圖為「半彈道跳躍式再入返回」飛行軌跡示意圖。（圖片來源：國家航天局）



附圖十 嫦娥五號返回器高速進入大氣層持續下降，與空氣摩擦使返回器表面產生極高的溫度，本圖為返回器再入大氣模擬圖。（圖片來源：國家航天局）



附圖十一 被高溫焚灼成黝黑的嫦娥五號返回器，在內蒙古四子王旗預定區域成功著陸，圓滿達成「著月、採壤、返回」的任務。(圖源：月球探測工程中心)

五、嫦娥五號探測器「著月、採壤、返回」的戰略意義

中共的探月工程涵蓋「無人探月」、「載人登月」與「長久駐月」3 個階段；「無人探月」階段分為「繞」、「落」、「回」三個期段依序進行，陸續以嫦娥一號探測器實施了環繞月球遙感探勘，嫦娥二號、三號與四號探測器先後實施著月、巡航、與探測，嫦娥五號探測器實現了「著月、採壤、返回」，為「無人探月」階段的任務劃下了完美的句點。至於探月工程第二階段的「載人登月」，目前還處於技術方案研究階段，若成功立項（建案），將會在 2030 年代實現。

「嫦娥五號」月球採樣返回任務、沒有採用蘇聯無人探測器採取月壤的簡單飛行模式，為何採取美國載人太空船飛返地球的「月球軌道交會」複雜飛行模式呢？筆者淺見具有下列 3 項戰略意義：

1、驗證執行載人登月往返任務模式的可能性

全球至今只有美國曾成功實施過 6 次載人太空船登月往返任務。1962 年美國航太總署研發載人登月所需硬體、軟體時，針對載人登月往返任務共提出 4 個飛行模式方案：直接起飛(Direct Ascent)、地球軌道交會(Earth Orbit Rendezvous)、月球表面交會(Lunar Surface Rendezvous)與月球軌道交會(Lunar Orbit Rendezvous)，經過縝密分析後瞭解：「月球軌道交會」執行發射任務的運載火箭

所需之推力最低，相關技術與風險性最低，所需經費較低，因而被選定為執行「阿波羅計劃」的飛行模式，而美國 1969 年至 1972 年的 6 次阿波羅載人登月飛行任務，一次又一次地驗證了「月球軌道交會」是最佳的任務飛行模式。中共下一階段將實施載人登月往返，當然應會選用「月球軌道交會」任務飛行模式。

目前中共無法實施載人登月最主要的制約是沒有能執行任務的運載火箭——長征五號的推力尚不夠大，必須從新研發推力更大的長征九號火箭，因此必須到 2030 年代才能實施。但中共深切了解其航太實力，特地利用嫦娥五號探測器進行一次「月球軌道交會」任務模式的無人「著月、採壤、返回」任務，預演與驗證中共執行載人登月往返任務模式的可能性，而中共驗證成功了！未來只要擁有長征九號火箭，中共應能成功實施載人登月任務。

2、為研究太空科學貢獻一份力量

「嫦娥五號」著陸地區為月球正面風暴洋西北部呂姆克山脈附近的月海平原，是一個與以往美國阿波羅計畫和蘇聯「月球」號探測器採集月壤時完全不同的新地點，從未有其他國家的探測器到訪過。

風暴洋是月球上最大的月海，是一片廣闊的灰色平原，由遠古火山噴發形成的玄武岩構成。根據目前研究成果，這塊區域形成的地質年代較短，約 37 億年左右，通過對玄武岩樣品的研究，包括它的結構構造、物理特性、化學成份、同位素組成、礦物特點和地質演化等，能深化了解月球的起源、月球晚期所發生的事情，以及推測地球和太陽系如何演化，更精準地確定地球、火星和水星等行星的年代。

2020 年 12 月 17 日，中共國家航天局副局長、探月工程副總指揮吳豔華在新聞發布會表示：「嫦娥五號」採集的月壤樣品主要將用於三個目的：一是用於科學研究；二是一部分樣品將用於博物館展示和科普教育；三是根據國際合作公約，與世界各國科學家共享。中共將「嫦娥五號」採集的月壤分給多個國家共同研究分析，必能使太空科學向前邁進一大步，為太空科學貢獻一份力量。

3、為研建月球南極「無人科研站」進行準備

2017 年年底中共媒體透露，中共航太機構已進行論證，研討在月球南極建立長期供給能源、自主運行、無人值守的「無人科研站」，展開以機器人為主的科學研究和技術試驗，並計畫於 2023 年至 2026 年間，陸續發射嫦娥六號、嫦

娥七號與嫦娥八號探測器著陸於月球南極，對月球南極的地形地貌、物質成分、太空環境等深入了解，以及進行一些關鍵技術的月面試驗（例如能否採用 3D 列印技術，在月球上利用月壤建構房屋等），驗證建立無人月球科研站的相關技術與可行性。概估中共在 2030 年以前應可能完成月球南極無人科研站的建設。（經多國探測器環月遙感發現，月球南極儲有「水冰（water ice）」，可利用它產生太空人維生所需的水與氧氣，以及用為火箭燃料的氧氣與氫氣，因而月球南極已成為各航太國家探勘、著陸、登陸與建設科研站的熱門地區）

其中，嫦娥六號探測器計劃著陸於月球南極進行採樣返回；採集的樣本返回地球後，系統性分析南極月壤與月岩的成份、物理特性與結構、礦物與化學組成等，深度了解月球南極，為研建南極「月球無人科研站」發展相關的硬體與軟體。「嫦娥五號」的無人「著月、採壤、返回」任務不僅驗證了中共月球採樣返回的飛行模式，建立了中共月球採樣返回的信心，並能在已有的基礎與上加以改善，進而強化嫦娥六號探測器無人採取月壤的技能與重量，有助於南極「無人科研站」的研究與發展。

六、各國媒體的讚揚與期盼

嫦娥五號探測器的「著月、採壤、返回」任務往返共 23 天，歷經 11 個階段，自月球採回 1731 公克的月壤，圓滿完成任務，國際媒體普遍表達對中共航太成就的讚揚和國際航太合作的期待。

美國《華爾街日報》評論稱：這是中共太空探索的最新努力，也是人類自上世紀 70 年代以來首次採取月球樣本帶回地球。此前只有美國和蘇聯成功從月球採集過樣本，人類已有 44 年沒有此類探索。

美國《華盛頓郵報》稱：這是中共一系列探索月球任務中最新的一次，顯示了中共太空探索力量的崛起與茁壯。

美國《紐約時報》關注到，中共官方媒體對嫦娥五號的飛行任務進行了現場直播。「這次毫無延遲的直播，是中國對其航太工程越來越有信心的一個證明。」該報導還稱，美國航太總署副首席科學家大衛·德雷珀（David Draper）讚歎，「嫦娥五號是一項非常大膽的任務，中國正朝著更深理解月球歷史的目標前進。」

德國《明鏡》週刊網站報導，西方專家普遍認為中國此次探月行動的方案很

出色。歐洲航太總署（European Space Agency）高級科學顧問馬克·麥考林（Mark McCaughrean）表示，此次任務比載人登月本身要複雜。它與「阿波羅計畫」有很多共同之處，顯然中國向載人登月任務邁出的又一步。

「嫦娥五號任務具有前所未有的挑戰，尤其使用了多項創新技術。」法新社援引分析人士觀點稱：「嫦娥五號採樣返回任務比中共歷次探月任務更複雜、更困難，因為它不僅需要從月球表面起飛、以更高的速度再入地球大氣層，還需要在月球軌道上進行飛行器無人交會對接操作。」

「中共的航太事業正在有條不紊地取得進展。」英國《泰晤士報》的一篇報導盤點了中共近些年在航太領域取得的突出成就。該報導指出，中共自 2003 年將第 1 位太空人送入太空後，至今神舟系列太空船已經將 14 人次太空人送入太空；2020 年 7 月 23 日，中共發射了由軌道飛行器、著陸器與火星車整合而成的「天問一號」火星探測器，將一次對火星實現「繞」、「落」與「巡」3 個目標；2020 年 7 月 31 日，北斗衛星導航系統完成全球覆蓋的組網建設，為全世界提供定位、導航和授時服務；中共並計畫於 2021 年至 2022 年間建成太空站，供全球科學家駐留進行科學研究工作。

美國著名雜誌《外交學人（THE DIPLOMAT）》刊文指出，嫦娥五號探月任務以及其他一系列太空任務，賦予了中共特殊的戰略意義，未來一段時間，將有越來越多的國家加入中國以「一帶一路」為主導的太空計畫中來。

俄羅斯總理米舒斯京（Mikhail Mishustin）表示，嫦娥五號是中共航太計畫的一個階段性成就，願加快推進兩國航太合作

簡而言之，國際輿論普遍認為，中國借嫦娥五號探月工程的實施，展現出不輸於美、俄的最高航太科技水準，將進一步推動人類對月球的相關科學研究，對國際航太合作具有重要意義。

七、「嫦娥五號」引發的美國航太科技界窘困

1957 年 10 月 4 日，蘇聯發射人類的第一顆人造地球衛星進入太空軌道運行後，立即引發了美國與蘇聯之間的激烈「太空競賽」，競相展開航太科技領域的研發，進步快速。1970 年 4 月 24 日中共成功發射第一顆人造衛星「東方紅一號」

時，美國與蘇聯不僅已發射了各類功能的應用衛星，以及多枚月球與星球探測器，美國的阿波羅 11 號(Apollo 11)太空船已完成載人登月，採取月壤返回地球（1969 年 7 月 16 日至 20 日往返）。

中共發展航太科技雖為時較晚，且科技與工藝較不發達，但中共積極奮發，力爭加入航太科技國際合力協作。1980 年代，中共長征系列火箭技術日臻成熟，1988 年中共開始與美國就相關的合作進行各種接觸，最終中、美兩方政府成功簽署了《關於衛星技術安全的協議備忘錄》。1990 年 4 月 7 日，中共長征三號運載火箭成功發射了美國休斯公司製造的亞洲一號衛星；截止 1999 年底，中共長征系列火箭一共進行了 24 次外國衛星發射，成功 20 次，失敗 4 次，成功地將 27 顆衛星送入預定軌道。

1999 年 5 月，美國發表由眾議員克里斯多福·考克斯（Christopher Cox）起草的《考克斯報告（Cox Report）》，指責中共利用發射美製衛星的商業衛星發射服務，竊取美國衛星與火箭相關資料，應用於中共的衛星、運載火箭與長程彈道導彈，自此美國國會與官方禁止中共利用商業衛星發射服務、發射美國製造或具有美國製造元組件的商業衛星，關閉了中、美在航太領域合作的大門。

20 世紀末，美、俄等國開始研建國際太空站（International Space Station）。1998 年 11 月 15 日，太空站第一個主件「曙光號（Zarya，俄文）」功能艙發射升空入軌，當時中共的科技部長朱麗蘭就表示，參加國際太空站計畫是中共國際科技合作專案的目標之一。國際太空站雖然由美國和俄羅斯共同主導，但是絕對控制權卻掌握在美國的手裡。美國對中共航太技術的崛起一直深感憂慮並懷有戒心，為了阻絕中共獲得高新航太科技，保持美國在航太領域中的優勢，20 多年來美國一直拒絕中共參與國際太空站計畫。

2011 年 4 月，美國國會批准眾議院撥款委員會商業、司法、科學及相關機構小組委員會主席弗蘭克·沃爾夫（Frank Wolf）提出「沃爾夫條款（Wolf Clause）」，禁止美國航太總署（NASA）和白宮科技政策辦公室的任何聯合科學活動與「中國政府」進行技術交流，以及以反間諜為由禁止 NASA 所有設施接待「中共官方訪問者」。美國進一步阻斷了中、美航太科技合作的可能性。

2020 年 12 月 17 日「嫦娥五號」採集月壤返回後，中共國家航天局副局長吳豔華在新聞發布會表示：「嫦娥五號」採集的月壤樣品將根據國際合作公約，

與世界各國科學家分享。現場路透社記者提問，中共是否會將月球樣品贈予美國航太總署；吳艷華回應稱：中國願意與各國志同道合的機構共享月球樣品和探測數據，能不能合作取決於美國政府的態度。吳艷華如此回答，暗示美國航太總署若不能突破沃爾夫條款，美國科學家將不可能分享「嫦娥五號」採集的月球樣品。

經過 50 年的計畫性發展，中共在載人航太、深空探測與衛星應用等主要航太科技領域，皆創造了豐碩的成績。當前中共航太發展的重點工作是於 2021 年至 2022 年間，建成有太空人常駐的「天宮號」太空站，第一個艙段——核心艙即將於今年春季發射入軌。2018 年 5 月 28 日，中共載人航太工程辦公室對外發佈合作機會公告，邀請聯合國各成員國參與利用其太空站進行太空科學研究的國際合作。截至 2020 年 6 月，已經有來自 17 個國家的 23 個科研專案申請進入「天宮號」太空站。而美、俄等國合建的國際太空站，歷經 20 年在軌運作已垂垂老矣，不僅組成的艙段開始漏氣，並且美、俄皆深感難以籌措其運作所需費用，國際太空站已經近乎「雞肋」。

「嫦娥五號」完成任務後的 2020 年 12 月 20 日，美國《政客 (Politico)》雜誌發表杰奎琳·費爾德舍 (Jacqueline Feldscher) 的撰文「拜登太空顧問敦促與中國合作 (Biden space advisers urge cooperation with China)」，列舉了該雜誌在近兩個月裡採訪近 20 位前太空人、政府官員和航太專家的內容。其中大多數人都認為，如果美國繼續完全斷絕和中國的航太合作，不僅可能會失去全球航太領袖的地位，很多美國的合作夥伴要去與中國合作了，並且中國計畫性的航太科技發展將會更進步與更有成果。美國前太空人帕姆·梅爾羅伊 (Pam Melroy，目前係 NASA 的新任署長候選人之一) 告訴《政客》雜誌，「我認為將中國排除在外是一種失敗的策略；我們參與其計畫是非常重要的。」

但「沃爾夫條款」根深柢固地橫互在中間，阻礙著中、美航太科技合作。在中、美關係嚴重對立的當下，美國航太專家已陷於窘困，不知如何才能化解「沃爾夫條款」來與中共進行航太合作。

八、結語

航太科技強國的基本條件包括：自主向太空軌道和軌道以外發射太空飛行器的能力、太空飛行器進入太空關鍵區域——月球、拉格朗日點與深遠太空的能力、吸引其他國家參與航太科技合作的能力、投射和保持太空軍事力量的能力等，這

些能力中共近年來已逐漸具備，顯示當前中共的航太科技實力已經逐漸超越俄羅斯，直追美國，令美國感到很大的壓力。

「嫦娥五號」著月採壤任務的圓滿成功，進一步彰顯了中共航太科技的實力，不僅將吸引和凝聚更多的國家與中共在航太領域互惠合作，也可能促使美國相關人士認真檢討是否應該剷除「沃爾夫條款」，與中共在航太領域展開研發合作（也是深入了解與牽制中共航太研發的途徑）。從另一個角度思考，這也可算是中共發射嫦娥五號探測器月球採樣返回的戰略意義之一。

(本專欄文章作者意見不代表論壇立場)