

## 大陸嫦娥工程首席科學家歐陽自遠專訪

# 為國家做準備， 為自己做準備

相較於美蘇兩國上世紀六、七十年代的激烈競賽，中國大陸的探月計畫「嫦娥工程」從21世紀初才開始為外人所知曉，外人看來，這一路似乎走的很順，因此會讓人低估現代技術探測月球的風險，但這其實包含了長時間的準備與細心的分析。

中國大陸的探月計畫「嫦娥工程」從21世紀初才開始為外人所知曉，預計以「繞、落、回」三個階段去實踐繞行月球、降落表面，以及取回樣本等任務。相較於美蘇兩國上世紀六、七十年代的激烈競賽，這已經晚了好幾十年。但是後發似乎也有優勢，中國大陸蒐集了過去美蘇的相關發展資訊並善用現在的高科技，因此嫦娥工程至今發射出四個探測器，全都精準地達成目標，目前嫦娥四號的月球車還在月球背面工作、採集樣本分析，已經有些特別的發現準備發表，預期還能工作一陣子。

由於這一路走的很順，因此會讓外人低估現代技術探測月球的風險，但這其實包含了長時間的準備與細心的分析。

今天感謝中央大學太空所葉永烜講座教授的牽線與帶領，讓我們來聽聽中國大陸嫦娥工程的首席科學家，被譽為「嫦娥之父」的歐陽自遠院士介紹，了解他為嫦娥工程乃至未來的太空計畫幕後的準備。

## 年輕的學者默默為國家的未來做準備

歐陽院士1935年出生於江西吉安的醫藥世家，原本父母希望他能繼承家業去學習救人濟世的本領，這樣即使遇到亂世還是能糊口。但他卻受到當時國家對年輕人的號召，希望能「喚起沉睡的高山，讓它們獻出無盡的寶藏」，遂違背了父母的願望，1952年考入了「北京地質學院」。

1956年歐陽院士大學畢業後又考上中國科學院地質研究所，成為研究礦藏成因的副博士研究生。求學時他常去



圖2. 歐陽院士的辦公室一隅。



圖3. 兩岸院士相見歡，葉永烜教授與歐陽院士訪問前的輕鬆氣氛，圖中右上角為葉教授致贈的親筆畫作。

圖書館，因為具有良好的英文與俄文能力，於是為他打開了世界的窗口，可直接閱讀外國期刊雜誌。他注意到了在1957年10月4日，蘇聯成功發射史波尼克一號（Sputnik I）人造衛星上太空，拉開了太空時代的序幕。這刺激了當時敵對陣營的美國加緊研發，隨後也在1958年1月31日發射探險者號（Explorer 1）人造衛星上太空，兩國太空競賽態勢出現了！

美、蘇兩大超級霸權在當時對立的氣氛之下，快速定出更富企圖心的計畫，1958年美國開始陸續發射先鋒號（Pioneer）系列4個月球探測器，蘇聯也在1960年之前發射了3個月球號（Luna）系列探測器，不過這階段的嘗試多數以失敗告終。

雖然月球3號繞行到月球背面拍攝29張照片回來，讓人看到月球背面70%的面積，但以今天的標準來看，影像的品質不大好。然而蘇聯還是拿到那裏的命名權，針對背面的種種地形開始命名。它還讓人類了解月球背面不像正面這般多平坦的「月海」（月面上低平的地方），而是有更多大大小小的撞擊坑。這讓人體會到月球這顆「衛星」對地球的護衛，如果不是它在旁邊幫我們遮擋，那些小天體很有可能掉到地球上，對地球的生物造成更多次的毀滅性影響。

現在回頭來看這些突破對人類很有意義，但身處當時，對手美國嚥不下這口氣，於是在1960年還開展了火星探測，仍是失敗！

從失敗中大家明白再這樣好

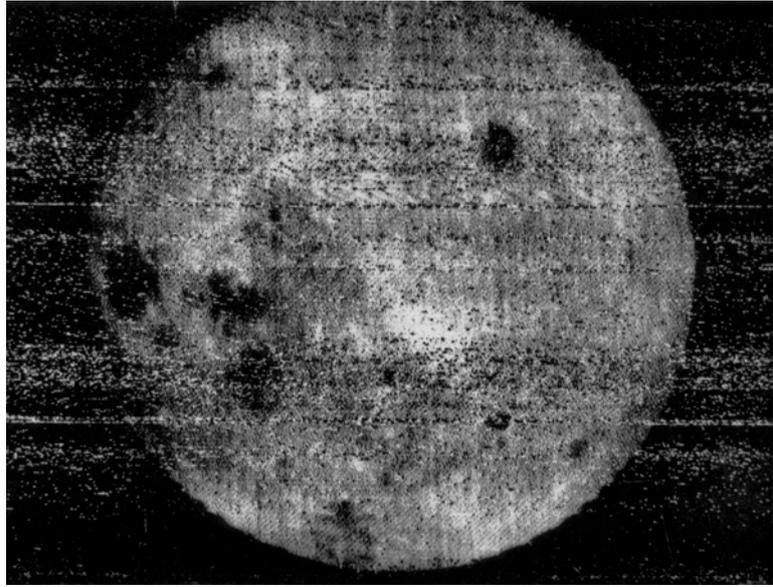


圖4. 蘇聯傳回人類拍攝第一張月球背面影像。

高驚遠下去並無法累積經驗邁向成功，於是1961年在甘迺迪總統的號召下，美國決定投入全國的人力、財力與物力去研究如何載人登陸月球，這也就是後來有名的阿波羅計畫（Apollo Mission）。

科學家以工作分析（Work Analysis）的方式去解構這項龐大複雜的任務，然後針對一步步的細節去開出規格標準，尋找專業

人士來達成目標，這包括了產業界與學術界等單位的人才，把工作分派出去，大家目標一致、氣勢高昂，但也不急在眼前，而是希望能在計畫開始後10年之內載人登陸月球。

蘇聯也默默在做，1966年的月球9號成為第一個在月球上軟著陸的探測器，它在風暴洋（Oceanus Procellarum）降落。同年稍後美國的測量員計畫



圖5. 50年前美國人登陸月球。

(Surveyor Program) 也為阿波羅計畫的載人登月預做準備而陸續在風暴洋、寧靜海 (Mare Tranquillitatis) 等地軟著陸，此時有的探測器會攜帶鏟子去挖掘月球土壤、測試深度。在此之前並沒有人知道月球土壤的厚度與特性，科學家擔心如果土壤太厚太鬆的話，太空人將無法在上面好好站立，那就會增加載人登陸的風險。美國的測量員計畫總共有7次發射，5次成功著陸，同時也確認月球表面的土壤不會對太空人造成太大的困擾。

美蘇的太空競賽，原本由蘇

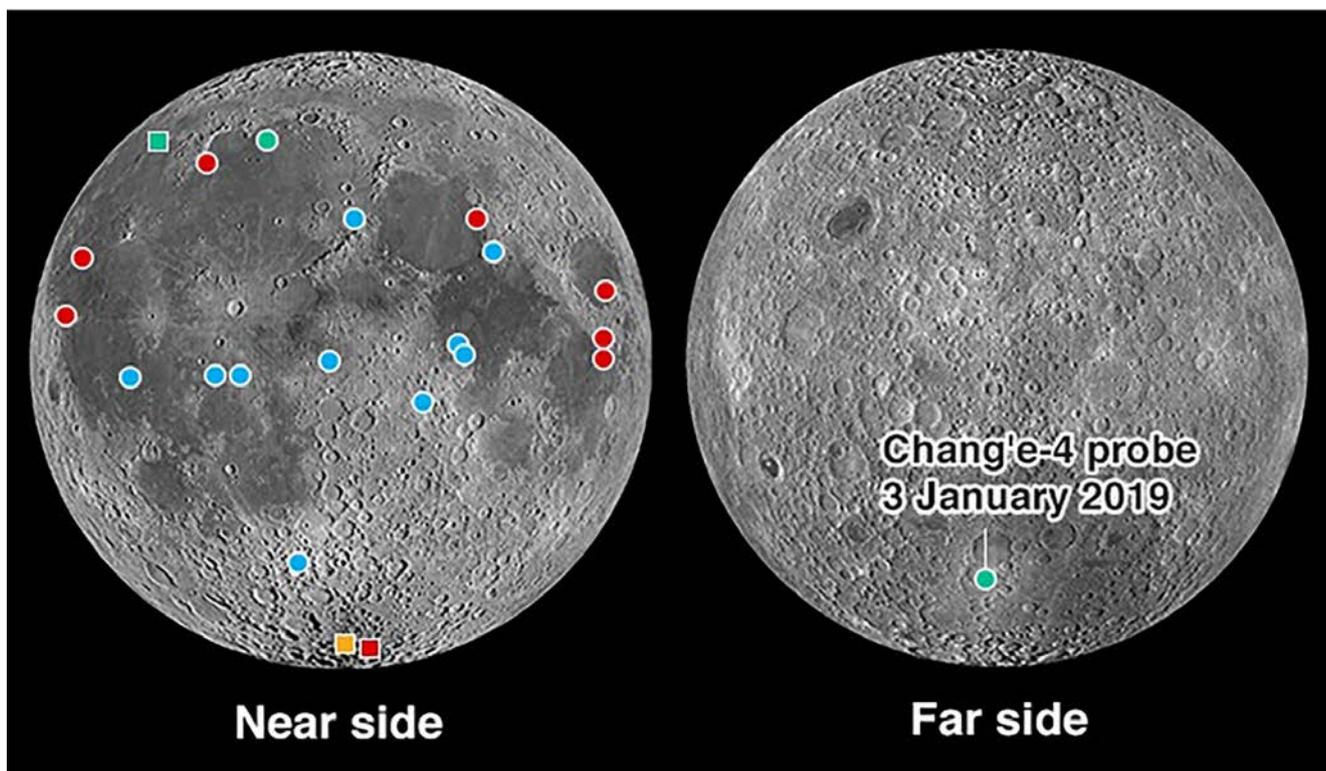
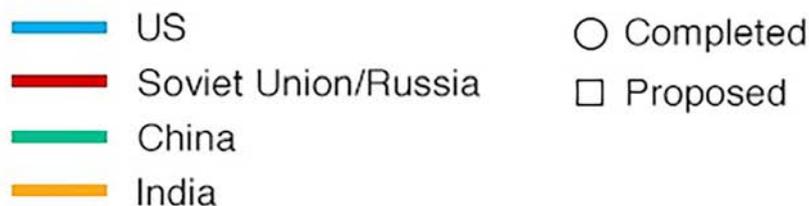
聯領先，但是自從1969年7月20日阿波羅11號成功登陸月球，阿姆斯壯 (Neil Armstrong) 與艾德林 (Buzz Aldrin) 踏上月球表面、取回月球岩石之後情勢開始逆轉。原本蘇聯領先、美國在後追趕時，美國都可以在稍後達成目標。然而當美國率先把人送上月球後，蘇聯原本也想一別苗頭，但始終沒有成功，因此就由美國獨佔鰲頭，從1969年到1972年，阿波羅計畫六次成功地登陸在月球上不同地方，取回了各種具代表性的岩石，包括了低平月海的玄武岩，還有高山的鈣長岩。

上世紀的登月計畫到1976年進入尾聲，美國成功的載人登月並取回岩石樣本，蘇聯則是以無人探測器前去分析研究。

歐陽院士分析在這18年的月球探測過程，蘇聯一共發射了59個探測器，31個成功，28個失敗，成功率為52.5%；美國發射了49次月球探測器，這其中也包括數次載人任務，34個成功，15個失敗，成功率69.4%；整體來看此時總共發射了108個探測器，65個成功，成功率60.2%。

歐陽院士當時只是個年輕研

## Sites of successful Moon landings



Source: NASA

BBC

圖6. 至今人類登陸月球的地點分布。

究人員，了解中國的科技與這兩大強權的水準差距很大，但是敏感的他認定這是未來趨勢，他自發性地要為中國進入太空時代做準備。因此在沒有計畫支持下，自己默默地關心這些發展，蒐集資訊，並自學太空科技。這並不是做做新聞簡報，而是要深入了解許多技術細節，包括火箭發射推進器、各式探測器，還要關心科學發現。

他就常自問：美蘇兩國為什麼要花那麼多錢、費那麼多勁、動員全國一流的人才去探測月球？

### 月岩來敲門

身為唯一有人探測過月球的國家，美國帶回了381.7公斤的岩石，他們除了讓自己國內的科學家做研究之外，也將其當作國禮送給其他國家。中國大陸在1978年獲贈一塊，當時政府覺得這應該找人好好研究，但中國大陸境內誰可以擔當此大任？

當時歐陽院士除了自己關心太空科技的進展不斷自學之外，他也實際去研究隕石這種地球之外的物質，有了良好的聲譽，因此中國科學院推薦他接手此一研究。

歐陽院士對於自己能夠拿到38萬公里遠的月球岩石很感珍惜，他在潔淨的手套箱內砸開外層包裝的有機玻璃，更是倒抽一口氣！國禮包裝看起來很有份量的石頭，那其實是被放大的視覺效果，實際上獲贈的月岩只有黃豆點大，重量約1克。雖然一開始覺得有點失望，但歐陽院士仔

細想想應該也夠了，他還留下一半給北京天文館對公眾展示，自己率領團隊研究那剩餘的0.5克岩石。

幸好他累積了多年的經驗可以大展身手，先進行非破壞性研究，然後再進行破壞性分析測試，全面分析樣品的化學成分與分布、同位素組成等，總共發表了14篇論文，確定那是阿波羅17從澄海（Mare Serenitatis）東南部的陶拉斯－利特羅山谷（Taurus-Littrow valley）所帶回的岩石，編號291號高鈦月海玄武岩。

這雖然是初試身手，但歐陽院士覺得自己地質學的背景以及對太空的興趣讓他一直在為這個主題做準備。他覺得純粹天文的人雖然擅長接收各種訊息，但不大碰真實的樣品，地質學出身的他則很務實地去分析岩石，解構它的形成年代、環境條件，試圖精確地解讀出來太陽系過去的歷史。這過程中，地球自身提供的資訊最完整，月球則僅占其中的一部分，之後的火星則又略為豐富一些，但基本上都可以地球為基礎去做了解。

歐陽院士覺得天體岩石的歷史就像演戲一樣，地球的火成岩也有一幕幕的戲碼按次序輪番上演。不一定每個舞台都會演出全部的戲碼，天體本身的大小會決定戲目的完整與否，地球的體積大、內部長壽期放射性物質（鈾-238、釷-232和鉀-40）總量多，因此內部能量大，會有完整的三幕戲，包含了第一幕形成超基性和基性的火成岩（包括玄武岩、橄欖岩、輝長岩和斜長岩等）、第二幕形成中性的火成岩（包括

安山岩與閃長岩等），以及第三幕形成酸性火成岩（包括花崗岩與流紋岩等）。

月球則僅有第一幕，火星則加演到第二幕，這都與其大小有關係。隨著數十億年的時間流逝，月球早已散盡內部能量，不再有內營力（endogenetic processes）作用，從地質學而言屬於已經死亡。然而阿波羅計畫放上去的月震儀還是測量到一些震動，但這主要並不肇因於內營力，而是小天體撞擊所造成。也幸好有這些震動，讓科學家可藉著分析震波了解月球的結構。目前推測月球的中心有一個半徑約700公里月核，其外圍繞著約1000公里厚的月函，最外層的月殼厚度約50-80公里，目前推測面向地球這一面月殼較薄，背對地球那面月殼較厚。

不過這些都是四、五十年前那一波登月高峰所研究的成果，中國扮演旁觀的角色。

### 中國的探月計畫

歐陽院士自1993年開始在國內呼籲中國在經濟發展、技術進步之後，應該也要去探索月球。經過10年多的論證，不斷討論技術的可能性與科學的價值，中國大陸終於在2004年讓探月工程立項，正式提撥經費支持此一計畫，歐陽院士也就身為首席科學家，率領團隊規劃與執行計畫。

目前嫦娥四號已經成功在月球背面降落，克服了惡劣的物理環境，順利開展了「巡天、觀地、測月」的探測，逐漸有些成果累積。未來嫦娥五號、六號則

希望能夠分別從月球的正面與背面採集樣本回來，屆時除了自己研究之外，希望也能以月岩為贈禮，分送給其它有能力研究的友好國家。

歐陽院士覺得，嫦娥工程雖然是中國大陸進行的計畫，但研究成果不應該侷限在少數科學家手中，而該要對全人類公開，就像當年美蘇的登月競賽一樣，他也從旁獲得許多知識。因此現在對於探月的成果都會公開，除了以科普的角度對國內介紹之外，也希望能夠對全世界有興趣的科學家開放交流。

然而他也知道，太空科技的屬性特殊，核心技術誰也不會告訴別人，這得靠自己摸索測試，但是他仍希望能夠有合作機會，共同促進人類對地-月環境的理解、對太陽系的理解。

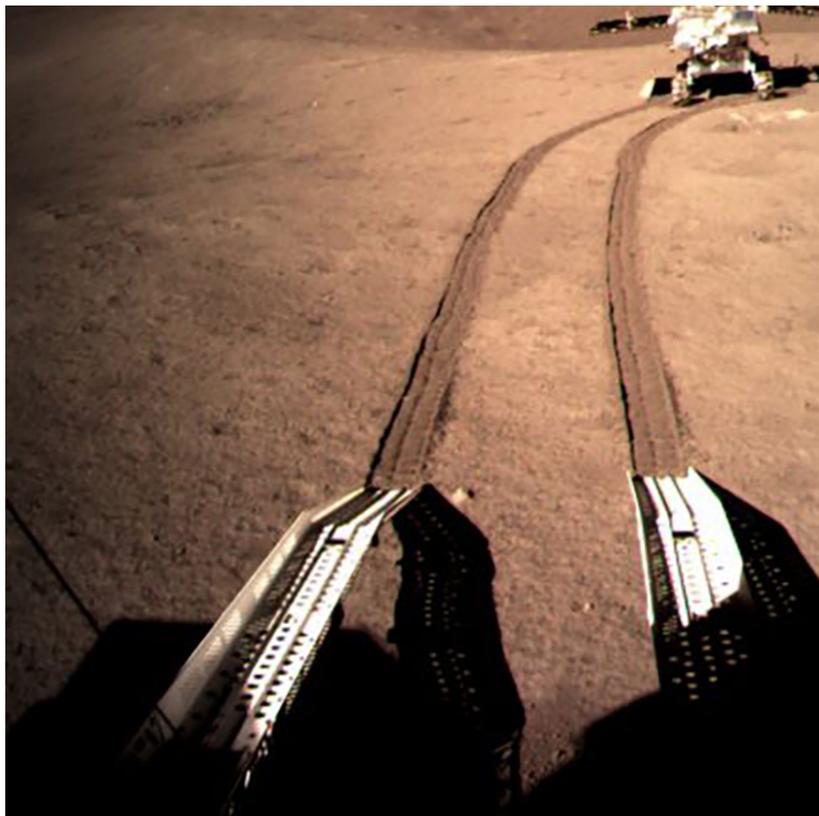


圖7. 玉兔二號緩緩駛離登陸器在月球背面留下的第一道轍印。(© 中國國家航天局)



圖8. 國家天文臺園區中「嫦娥奔月」的景觀雕塑。

## 火星與其他

明年還是造訪火星的窗口，因為地球與火星繞行太陽的周期不同，每隔26個月會有一次接近的機會，適合發射火星探測器，中國大陸準備把握此次機會第一次前往探索。

然而歐陽院士並不是第一次研究火星，他過去的隕石研究，有幾次分析起來發現那是從火星濺射出去的石頭。2014年還發現來自火星的隕石中之碳12與碳13的比值與地球生命相同，這就對火星過去是否有過生物，給了一個清晰肯定的答案。

但那是什麼型態？在多久以前？

歐陽院士覺得現在要更進一步探索這問題不容易，他希望先探討火星過去曾經存在的大量水跑到哪裡去，有人猜測到地底下去了，因此希望能夠探測火星全球的地下水分布。至於火星的地質、大氣、磁場等基本環境測量也會做全盤了解。

中國大陸快速到位的趕上過去缺席的太空競賽，歐陽院士提醒說，這不該光是技術達標就好，而是要思考好的、重要的科學問題，帶領人類去探索。過去當個後進者，有很多之前的資料可以參考；而當自己跑到最前面，沒有人在前頭引導時，如何自行定出適合的目標，這是另一個層次的問題，也因此他對美蘇當年扮演領頭羊的角色，非常佩服。而中國未來該怎麼做，他更是小心翼翼，步步為營。

目前歐陽院士心裏有幾個探

索目標，還在國內論證當中。這當中還有另一個問題是國內產業界的水準還達不到標準，他曾訪問過幾家儀器商一開始說起來好像沒問題，但是一把精度規格開出來就沒人敢肯定。還有人要他先提供樣品過去測試，但這怎麼可能？這方面他希望能藉由國際合作或者創新的想法來解決。

## 不同方式的科普

對於科普傳播，歐陽院士也很樂意去對社會大眾演講，跟大家分享研究的點滴，希望吸引年輕人投入研究，也希望說服國家領導了解這方面的重要性。每次科普演講，看到觀眾眼中燃起熱切的眼光，大家能肯定國家在這方向的付出與投入，還希望他們能更快有進展，讓他覺得這一切是值得的。

然而他更佩服美國航空太空總署（NASA）的另類科普做

法。這是針對五十年來不斷質疑「登陸月球是場驚世騙局」，NASA的人始終都「不予回應」。歐陽院士一開始覺得應該要加以說明才能正視聽，尤其隨著更多的探測器過去，許多拍攝回來的照片可以看到當年遺留在月面上的探測器，甚至還能看到太空人當年所行走的軌跡，一切都不言而喻，他都想出面幫忙說話，而NASA卻仍是不理會。

但近年來歐陽院士發現正由於這樣的質疑，而讓許多人熱情不減地關注阿波羅載人登月，這反而成為科學史上參與人數最多（上億人）、持續時間最長（50年）、爭論最激烈、完全自發性的科普運動，而這又不用花NASA一分錢，因此又不得不佩服這是更高明的科普活動。

范賢娟：福建寧德師院副教授

### YouTube相關影片：



20180322 中國探月工程首任首席科學家 歐陽自遠  
[https://www.youtube.com/watch?v=VXVvBrUn\\_zw](https://www.youtube.com/watch?v=VXVvBrUn_zw)



中國什麼要去月球背面  
<https://www.youtube.com/watch?v=f5Twp2SEq2w&t=619s>