

●趙國春（左）和錢煜奇（右）在上海出席國家航天局探月與航天工程中心主辦的第二屆月球樣品研究成果研討會。 受訪者供圖



析嫦六月壤成分 揭月球盆地演化史

港大運用遙感及數值模擬 釐定數十億年間重大撞擊事件及時間

由香港大學地球與行星科學系地質學家領導的國際研究團隊，基於國家月球探測的關鍵材料取得月球最大撞擊盆地——南極—艾特肯盆地形成及演化的新證據，進一步揭示其數十億年來的地質演化歷史，是香港科學家迄今最實在的月球科研成果之一。團隊利用嫦娥六號採集、並獲分配予港大地球與行星科學系作科學研究的月球樣本，結合嫦娥四號的探測數據及衛星觀測資料，識別出兩類具有不同地質成因的富鎂岩石，並重建了在大約38億至43億年前之間，月球南極經歷一系列重大撞擊事件的時序，揭示這些撞擊如何塑造該月球最大盆地的地質面貌。成果近日於學術期刊《科學進展》發表，為認識月球早期的地質演化，以及巨大撞擊如何重塑月球表面，提供了新線索。

●香港文匯報記者 高鈺

有關研究由港大地球與行星科學系莫秀瓊基金教授趙國春，以及論文第一作者、學系研究助理教授錢煜奇領導，合作夥伴包括西北大學、布朗大學、明斯特大學、北京大學、夏威夷大學、歐洲太空總署及中國科學院。

南極—艾特肯盆地位於月球背面，是太陽系中最古老、規模最大的撞擊構造之一，一般認為由數十億年前的一次巨大撞擊形成。研究這個古老盆地，有助解答月球早期歷史的重要科學問題，包括月球正面與背面為何存在如此顯著差異、月球內部由哪些物質組成，以及早期演化過程中的重大撞擊究竟發生於何時。

然而，人類對這個盆地的實地探測一直十分有限，直至嫦娥四號於2019年實現人類首次在月球背面着陸，其後嫦娥六號於2024年首次從月球背面帶回樣本。

港大領導的團隊於早前研究中，已率先找到南極—艾特肯盆地區域曾經歷長期火山活動的證據，並揭示此前未被發現的岩漿活動。研究並提出，含鈦鐵礦的堆晶岩，即由富鈦礦物結晶堆積形成的岩石，可能是導致月球正面與背面火山歷史存在差異的因素之一。

隕石撞擊拋射岩石 留追溯線索

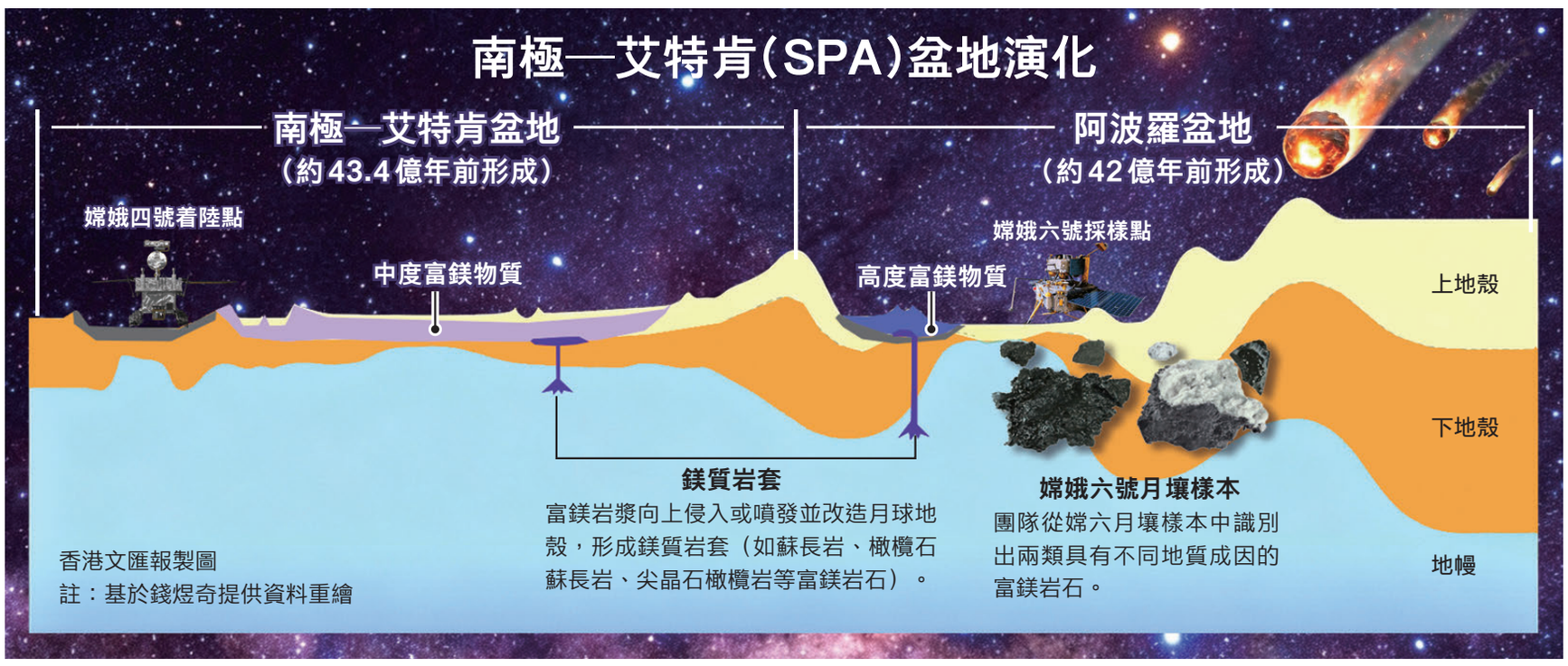
而在是次最新研究，團隊進一步將焦點轉向盆地的撞擊歷史，探討接連發生的撞擊如何塑造其地質演化。這些撞擊將大量岩石碎屑從地表或地下挖出，並拋射至盆地不同位置，留下追溯盆地地質歷史的寶貴線索。

研究人員結合嫦六月球樣本的分析結果，以及嫦四和嫦六的月表實地測量數據，首次取得有助重建地質演化歷史的直接證據。他們進一步運用遙感技術及數值模擬，將研究結果拓展至南極—艾特肯盆地更廣泛的區域。

研究揭示了兩類具有不同地質成因的富鎂岩石。第一類是中度富鎂的蘇長岩。形成南極—艾特肯盆地的巨大撞擊使大量岩石熔融，形成厚厚的撞擊熔融層。其後熔融物質逐漸冷卻、分異，形成這類岩石。

這些岩石後來出露於大型撞擊坑的中央峰，部分更經芬森（Finsen）撞擊事件挖出，並被拋射至馮卡門（Von Kármán）撞擊坑內的嫦四着陸點。第二類是高度富鎂的岩石，可能源自另一種與南極—艾特肯盆地撞擊事件相關的岩漿活動，稱為鎂質岩套作用（Mg-suite magmatism）。這些物質出露於阿波羅盆地的西部峰環，其後經查菲S（Chaffee S）撞擊事件拋射至嫦六採樣點。

研究人員亦進一步釐定了數十億年間塑造盆地的重大撞擊事件及其發生時間。研究結果顯示，南極—艾特肯盆地可能形成於約43.4億年前，其後阿波羅盆地於約42億年前形成，而東方（Orientale）盆地則形成於約38.7億年前。這些撞擊事件共同塑造了月球最大撞擊盆地的結構，讓科學家更清楚了解盆地的地質演化歷史。



「每一把月壤都蘊藏月球起源演化信息」

香港文匯報訊（記者 劉凝哲）月球南極—艾特肯盆地位於月球背面，是月球最大、最深、最古老、同時也是最具科學價值的撞擊盆地，是全人類探測月球的熱點區域之一。目前僅有中國嫦娥四號和嫦娥六號任務對其進行了着陸探測，為認識月球形成早期撞擊歷史提供了前所未有的機遇。對於如何通俗地理解港大此次重要科學研究？錢煜奇接受香港文匯報訪問時指，過去，月球樣品研究主要關注樣品本身，此次研究，則是集中國近20年來多次月球探測而成的成果。

嫦六岩屑源於古老岩漿岩

錢煜奇透露，此次研究團隊將嫦四搭載的玉兔二號月球車巡視探測數據和嫦六返回月球樣品分析結果結合起來，發現嫦四和嫦六任務遠隔數百公里，卻探測到了相似的富鎂元素物質。

他解釋說，科研團隊分析了嫦六月壤中四萬多個輝石顆粒，發現其中一群顆粒比本地玄武岩中的輝石明顯有更多鎂元素。進一步推測認為，這類岩屑可能來自阿波羅撞擊盆地西部的古老岩漿岩，後來被查菲S撞擊坑拋射到嫦六採樣點。

嫦四探測岩石成於撞擊熔融

對照之下，玉兔二號探測到的岩石富鎂程度較低，更符合另一種成因：南極—艾特肯盆地巨大撞擊熔化了岩石，熔體冷卻時，不同礦物先後結晶，形成了這類富鎂岩石。同時這一研究也證明，月球研究不僅是單點研究，當結合中國20多年來月球探測工程多次任務，將能在時空上構建月球演化框架。

「這項研究最大的意義，是證明月壤類似地球上的沙子，任意一把月壤都包含豐富來源的不同物質，蘊藏月球起源演化信息。」錢煜奇說，嫦六降落在28億年前的火山噴發產物上，嫦六任務採集的主要樣品都來自這一次火山噴發事件。而根據港大團隊在這一研究中構建的撞擊濺射和月壤演化模型，並經過嫦六樣品實驗室結果驗證，可以發現嫦六月壤中外來物質佔約四五成，來自月球不同地區。

錢煜奇表示，未來探月任務，尤其是中國載人登月將會有大量月球樣品返回。「這意味着在同一地點採一袋月壤，就可能把不同地質事件紀錄混合在一起，認識整個月球。」因此，了解月壤中不同顆粒的來源對樣品研究具有非常重要的意義。 錢煜奇相信，未來我國月球探測工程如果能充分了解樣品來源，將能更加充分發揮出月壤的科學價值，最大化任務科學產出。

另外，研究成果也將助力於「找礦」，分辨出哪些月壤顆粒具有重要的開採價值，例如富集稀土元素、金屬元素、揮發分的顆粒。他說：「如果能全面了解月壤這些顆粒及其來源，我們將能找到這些具有開採價值的區域，為我國載人探月，尤其是未來的月球資源利用找到最合適的、最具有資源利用價值的區域。」

深度參與載人登月研究 港成中國「深空智囊」

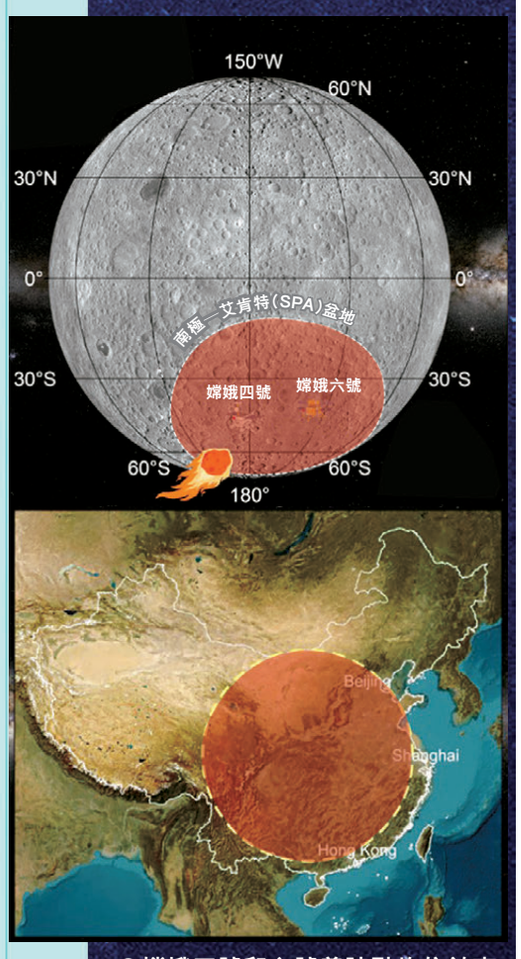
香港文匯報訊（記者 劉凝哲）錢煜奇深入參與了國家嫦娥五號、六號、七號任務的着陸區地質背景預研、返回科學數據和月壤樣品分析，而在備受關注的中國載人登月任務中，亦擔任載人月球探測工程科學與應用系統科學工作委員會委員。他向香港文匯報透露，港大團隊未來也計劃對我國載人登月工程的多個預選着陸區進行深入研究，構建這些預選着陸區地質演化歷史，分析月壤來源、科學價值，評估月壤資源利用價值，希望能作為智囊，為我國載人登月任務規劃、實施提供參考。

談及香港如何助力中國航天事業的國際合作，錢煜奇表示，香港既有份參與國家探月，也能與歐美等頂尖高校保持長期合作。他提到，在港大地球與行星科學系趙國春院士帶領下，港大的月壤研究，獲得了西北大學—香港大學地球與行星科學聯合中心，和中國科學院廣州地球化學研究所—香港大學化學地球動力學聯合實驗室的鼎力支持，此外，研究還與美國及歐洲頂尖團隊合作，擴大了嫦娥月球樣品研究的國際影響。

趙國春則與香港文匯報提到，港大目前除正在參與嫦五嫦六返回樣品分析及嫦七任務月球極區着陸區預研外，也有專家正領導開發天問三號火星地物高光譜成像儀，助力探尋火星生命痕跡。他認為，「香港獨特的優勢，為港大月球與深空探測研究提供了扎實基礎，並將持續為國家深空探測任務作出貢獻，服務國家『十五五』規劃和香港第一個五年規劃，推進國際創新科技中心建設。」

樣品研討會促進航天國際合作

錢煜奇也透露，自2025年以來，港大與中國科學院地質與地球物理研究所在香港聯合舉辦國際月球樣品研究研討會（ILSRS），每年匯聚來自中國、英國、德國、法國、美國等國家超過200名專家，共同探討月球樣品研究、月球探測與未來載人登月。這一會議逐漸成為中國與國際夥伴在月球科學與探測領域的重要平台，並促進了國內外在月球探測及航天領域的合作。



●嫦娥四號和六號着陸點均位於南極—艾特肯盆地內，其跨度與中國內地南北距離相若。港大目前正研究嫦娥六號採集的月球樣本。 受訪者供圖