



香港文匯報訊（記者 劉凝哲 北京報道）香港文匯報記者從中國航天科技集團四院獲悉，該院自主研製的世界上推力最大、沖質比最高，易使用的整體式固體火箭發動機在陝西地面熱試車獲得圓滿成功。該發動機直徑3.5米，裝藥量150噸，推力達500噸，綜合性能達到世界領先水平。據介紹，基於500噸推力整體式固體發動機，該院已開展直徑3.5米級分段發動機研究，最大推力將達到千噸以上，可應用於大型、重型運載火箭固體助推器中，以滿足中國空間裝備、載人登月、深空探索等航天活動的需求。



●500噸推力整體式固體發動機。  
受訪者供圖

中國火箭固體動力研究進展

2009年，航天科技集團四院研製成功了直徑2米、推力120噸、當時國內最大的整體式固體火箭發動機，直接推動了中國長征系列運載火箭中第一型全固體運載火箭長征十一號的立項研製，成為中國固體動力邁向宇航運載領域的重要里程碑。

2016年，隨著分段對接技術的不斷成熟，航天科技集團四院在120噸整體式大推力發動機的基礎上，成功進行了直徑2米分段式發動機地面熱試車，發動機燃燒室由2個艙段對接而成，推力120噸，成功驗證了固體發動機分段對接技術，也直接推動了中國首型細網固體助推器運載火箭長征六號A型火箭的立項研製。

2019年，航天科技集團四院自主研製成功了直徑2.6米、推力200噸的整體式固體發動機，進一步提升了中國航天固體動力運載能力的同時，推動了捷龍-3號商業航天運載火箭的立項研製。

2021年，直徑3.5米、推力500噸大型發動機的試車成功，為中國未來大型、重型運載火箭型譜發展提供更多的動力選擇。

整理：香港文匯報記者 劉凝哲

# 500噸推力世界最大 中國固體火箭發動機試車成功

本次試驗也標誌著整體式固體發動機推力「120噸、200噸、500噸」三步走計劃全面實現，對豐富我國運載火箭動力型譜、提升快速進入空間能力意義重大。

據陝視新聞引述公開資料報道，此前世界上最先進的整體式固體火箭發動機為歐洲的P120C發動機，直徑為3.4米、推力400噸。本次試驗的高沖質比整體式固體火箭發動機直徑3.5米、推力500噸。

高沖質比可以簡單理解為用最小的重量產生最大的沖量。該型發動機是瞄準世界整體式固體發動機最高性能水平，研製的一款大推力、高性能、易使用的先進固體發動機，是當前我國乃至世界上一次澆注成型、具有工程應用意義的沖質比最高、推力最大的整體式固體火箭發動機。

### 通過性能及工藝仿真確定結構

四院的專家表示，該型發動機採用了一系列先進技術。在設計上，針對大型發動機存在的燃燒、流動與熱結構等設計難題，創新地提出了新結構、新方法和新技術，並基於統一模型進行了50多種複雜工況的性能和工藝仿真，準確指導最終結構確定。

在工藝上針對大直徑殼體結構件加工，提出了小變形強時效工藝控制與成型技術，通過聯合採用人工時效、振動時效等多種技術，克服了大尺寸構件的變形難題。針對大直徑大型纖維纏繞成型複合材料殼體，創新地採用組合式金屬芯模、全程纏繞仿真、非熱壓釜成型等技術，解決了殼體直徑大幅增加帶來的纏繞「質量重、慣量大、滑移易、纏繞長、補強難、固化欠」等多個難題。

針對發動機推進劑的澆注成型，攻克了適應長時間澆注的高力學、工藝性能推進劑及適應襯層等配方技術，通過仿真模擬實際澆注過程的一系列工藝試驗，獲得了支撐澆注工藝制定的一系列寶貴參數。為控制澆注風險，從人機料法環五個方面提出了諸多工藝控制措施、制定了詳實預案。噴管作為發動機工作環境最惡劣的部件，面對高溫、高壓強、高流量考驗，設計和工藝人員創新地採用新型C/C喉襯技術，針對喉襯（固體火箭發動機噴管喉部內襯）開展了詳盡的性能測試，應用最新測量技術獲得了覆蓋常溫到高溫區間的80多項重要參數，成為四院有史以來測試數量最多、測試項目最廣、測試要求最全、測試難度最大的喉襯。



●500噸推力整體式固體發動機熱試車現場。受訪者供圖

## 液體動力和固體動力



### 話你知道

航天運載火箭分為液體火箭和固體火箭。首先，區分兩者主要看推進劑的形態。液體火箭採用液體推進劑，分別貯存在火箭的氧化劑箱和燃料箱內，工作時由輸送系統將它們送入發動機的燃燒室；固體火箭採用固體推進劑，就貯存在發動機燃燒室內，無需貯箱和輸送系統。這是固體火箭和液體火箭在箭體結構和動力裝置上的主要差別。

液體、固體動力有各自不同的特點。液體燃料發動機具有推力大運載能力強、可控性高等優點，但製作複雜，價格高昂，通常應用於航天運載火箭領域，例如我國新一代運載火箭採用的是低溫推進劑液氫、液氧，如長征五號、長征七號火箭，不過也有很大比例液體火箭使用的是常溫推進劑四氧化二氮和偏二甲肼，比如搭載神舟飛船的長征二號F火箭。

固體燃料發動機準備周期短、保存時間長、簡單便宜，安全可靠，易於轉場搬遷，但固體推動劑對環境有毒，很難安全地製造和操作，所以通常應用於導彈等軍事火箭中。

目前國際上的主要航天強國都是「固液並存」，部分火箭也採用了「固液混合」的方式。業界認為，兩種火箭各有特點，都有對方無法取代的優勢，只有兼顧才能滿足更多的任務要求。

整理：香港文匯報記者 劉凝哲

# 嫦五月壤研究：月球20億年前仍有岩漿活動

香港文匯報訊（記者 劉凝哲 北京報道）中國科學院10月19日發布了嫦娥五號月球樣品最新研究成果。研究證明嫦娥五號月球樣品為一類新的月海玄武岩，對陸區岩漿年齡、源區性質給出全新的認識，月球最「年輕」玄武岩年齡為20億年，月球冷卻的速度可能比之前想的更慢。中科院的科學家們通過三篇《自然》論文和一篇《國家科學評論》論文，展示了上述重要科學問題的突破性進展。

2020年12月17日，嫦娥五號返回艙成功著陸在中國內蒙古四子王旗，帶回1,731克月球樣品，這是中國首次完成地外天體樣品採集，也是人類44年來再次返回新的月球樣品。嫦娥五號在月球上的著陸點位於風暴洋西北處呂姆克山附近，遠離此前的「阿波羅」和「月球號」採樣點。

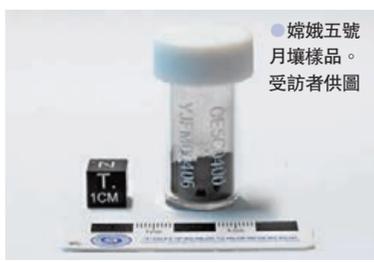
對來自美國、蘇聯的月球樣本和地球上月球隕石的研究已證實，月球的生命特徵之一——岩漿活動至少持續到大約28至30億年前，古老的岩漿噴發活動留下的黑色玄武岩形成了所見的「月海」。但是，對於月球岩漿活動停止的確切時間，科學界一直存在爭議。

在嫦娥五號月壤最新的研究中，科研人員利用超高空間分辨率鈾-鉛（U-Pb）定年技術，

對嫦娥五號月球樣品玄武岩岩屑中50餘顆富鈾礦物（斜鋸石、鈣鋁鎂石、靜海石）進行分析，確定玄武岩形成年齡為20.30±0.04億年，證實月球最「年輕」玄武岩年齡為20億年。也就是說，月球直到20億年前仍存在岩漿活動，比以往月球樣品限定的岩漿活動停止時間延長了約8億年。此外，中國科學家們採用的超高空間分辨率的定年和同位素分析技術也處於國際領先水平，為珍貴地外樣品年代學等研究提供了新的技術方法。

### 為月球探測研究提出新方向

月球最晚期岩漿活動的成因一直是未解之謎，目前科學界存在兩種可能的解釋：岩漿中富含放射性元素以提供熱源，或富含水以降低熔點。嫦娥五號月壤的最新研究基於中科院地質地球所研發的超高空間分辨率同位素分析技術，取得了意料之外的結果：嫦娥五號玄武岩初始熔融時並沒有捲入富集鉀、稀土元素、磷的「克里普物質」（這幾種元素在地球化學上被稱為「不相容元素」，意為不容易進入到固體中的元素），嫦娥五號樣品類似克里普物質的特徵，是由於岩漿後期經過大量礦物結晶固化後形成的。這一結果排除了嫦娥五號玄武岩



●嫦娥五號月壤樣品。受訪者供圖

源區富含放射性生熱元素的主流假說，揭示了月球晚期岩漿活動過程。

對於岩漿源區是否富含水的問題，科研團隊利用地質地球所納米離子探針研發的分析技術，測定了嫦娥五號玄武岩中的水含量和氫同位素組成，獲得月幔源區的水含量僅為1.5微克/克，也就是說月幔非常「乾」。科研人員指出，這一發現也排除了月幔初始熔融時因水含量高而具有低熔點，導致該區域長時間岩漿活動的猜想。該系列成果對月球熱演化歷史研究提出了新的科學問題，月球冷卻如此之慢的原因並不清楚，需要全新的理論框架和演化模型，這也為未來的月球探測和研究提出了新的方向。

## 中法科研機構將合研月球樣品

香港文匯報訊 據中新社報道，中國科學院10月19日舉行新聞發布會，發布嫦娥五號月球樣品最新研究成果。記者從會上獲悉，目前中國科學院和法國空間研究中心以及法國科研中心在月球樣品合作研究方面已經初步達成共識，雙方將以人員交流和共同研究項目的形式開展互補合作。

2020年12月17日，嫦娥五號返回艙攜帶約1,731克月球樣品成功返回地球。國家航天局探月與航天工程中心受國家航天局委託，實施月球樣品的具體管理工作。2021年7月12日，嫦娥五號任務第一批月球樣品正式發放，國內共有13家科研機構獲得約17,476.4毫克樣品。

中國科學院高度重視月球樣品研究工作，第一時間組織全院月球和行星科學領域的科研人員，開展多學

科交叉的優勢隊伍協同攻關，全面開展嫦娥五號月球樣品綜合分析和研究，於2021年5月正式設立重點部署項目「嫦娥五號任務月球樣品綜合研究」。該項目以月球樣品為基礎，物理特性、物質成分為研究對象，解構嫦娥五號月球樣品的特性信息。

中國科學院還積極推動嫦娥五號月球樣品分析研究的國際合作。目前，基於中法兩國科學家在空間領域的長期友好合作基礎，中國科學院和法國空間研究中心以及法國科研中心在月球樣品合作研究方面已經初步達成共識，雙方將以人員交流和共同研究項目的形式開展互補合作。未來中國科學院還將繼續加強與國際科技界在月球樣品研究方面的交流與合作。