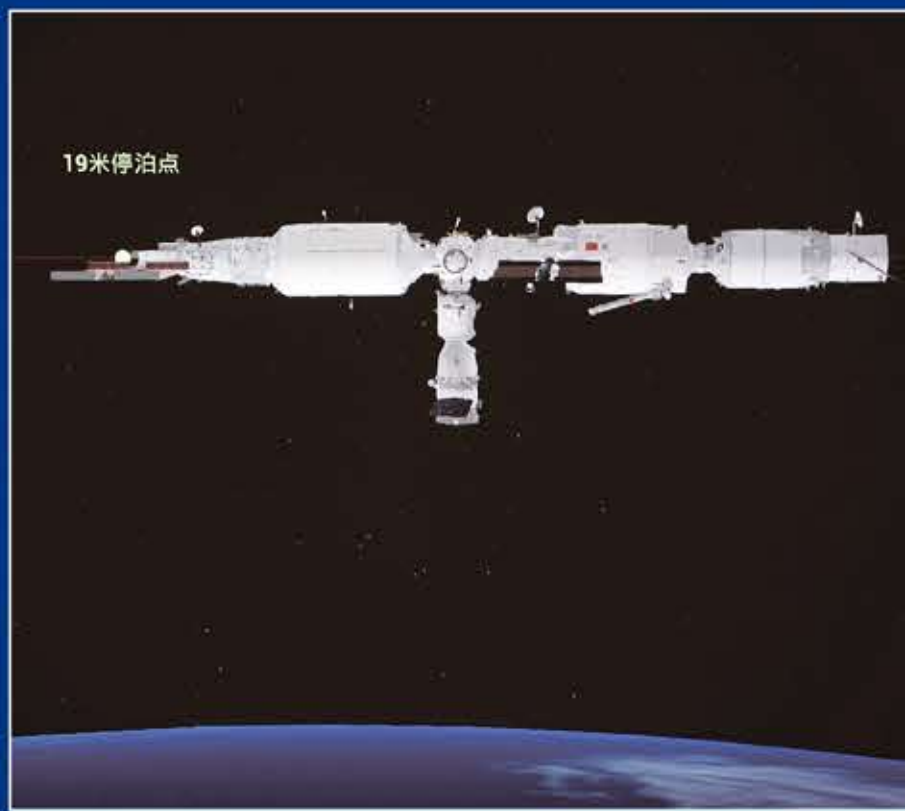




7月18日，大陸問天實驗艙與長征五號B遙三運載火箭組合體轉運至大陸文昌航太發射場發射塔架，作發射前的準備工作。



7月24日14時22分，搭載問天實驗艙的長征五號B遙三運載火箭，在大陸文昌航太發射場準時點火發射，約495秒後，問天實驗艙與火箭成功分離並進入預定軌道，發射圓滿成功。



7月25日，問天實驗艙與空間站天和核心艙組合體交會對接，這是問天實驗艙成功對接天和核心艙前向端口的模擬圖像。



7月25日神舟十四號太空人乘組進入問天實驗艙，太空人陳冬(中)、劉洋(右)、蔡旭哲進入問天實驗艙，向在地球的人群揮手。

7月24日14時22分，大陸搭載問天實驗艙的長征五號B遙三運載火箭，在文昌航太發射場準時點火發射，約495秒後，問天實驗艙與火箭成功分離並進入預定軌道。25日3時13分，問天實驗艙與天和核心艙組合體在軌完成交會對接。這是空間站有太空人在軌駐留期間首次進行空間交會對接。25日10時03分，神舟十四號太空人乘組成功開啟問天實驗艙艙門，順利進入問天實驗艙。這是中國大陸太空人首次在軌進入科學實驗艙。

問天實驗艙是大陸空間站第二個艙段，也是首個科學實驗艙。此次發射前後有哪些動人細節？中國太空家園的太空站有哪些技術突破？

毫米計算打造更大更安全太空新居

問天實驗艙由工作艙、氣閘艙和資源艙三部分組成，是空間站家族裡的大塊頭，艙體總長17.9米，直徑4.2米，發射重量約23噸，相關指標比天和核心艙更高，是大陸目前最重、尺寸最大的單體飛行器，功能強大，結構複雜，指標先進。

一個更重要的細節是，問天實驗艙配備了目前最大的柔性太陽翼，雙翼全部展開後可達55米。太陽翼可以雙自由度跟蹤太陽，每天平均發電量超過430度，將為空間站運行提供充足的能源。

在問天實驗艙的氣閘艙外，還有一套5米長的小機械臂。這套7自由度的機械臂小巧、精度高，操作更為精細。未來，小臂還可以與核心艙大臂組成15米長的組合臂，在空間站三艙組合體開展更多艙外操作。

為使問天實驗艙達到如此多樣的目標，設計研製隊伍團結攻克了一系列工藝瓶頸，研發了多項關鍵技術，最終得以保證問天實驗艙高質量交付、成功發射。

問天實驗艙中的工作艙，是大陸目前最大的載人密封航天器艙體，艙段長度近10米。為了保證

大陸太空計畫邁進一大步 問天實驗艙發射成功組建太空站

艙外安裝載荷的正常工作，艙外72個設備支架的介面精度要求非常高。但正是因為「個子大」，艙體結構上的精密介面尺寸受溫度的影響也被放大，導致支架裝調過程中測量誤差大。

與此同時，當前大型艙體研製使用的廠房空間大，產品研製週期長，實現廠房長時間恒定溫度環境的難度很大。為此，大陸航太科技集團五院529廠載人航太領域總師趙長喜帶領團隊，巧妙提出了一種虛擬恒溫測量方法，依靠數學矩陣計算原理，使易受溫度影響的測量環節可靠穩定，最終實現了支架裝配的高精度，成功為問天實驗艙這個大體格雕琢出一個精準的外形，保證了問天實驗艙艙外載荷的高可靠工作。

氣閘艙是問天實驗艙最重要的組成部分之一，是未來太空人的主要出艙通道。然而，要在艙體的柱段上進行出艙艙門焊接，給研製人員出了難題。以往的型號艙門處大多為規則的平面曲線焊缝，焊接厚度僅2毫米，而這個艙門焊接的位置在一個馬鞍形空間曲面上，焊接厚度還增加到5毫米，傳統的手工焊接已無法滿足要求。經過反復研究測試和大量工藝試驗，航太科技集團五院的研製人員提出了空間曲線自動化焊接新技術，自主研發了可柔性變化的焊接工裝，順利完成了密封艙艙門門框的焊接，各項指標均滿足設計要求。

正是近乎苛刻對完美的追求，才打造出更優質的太空之家。

精確精準組建太空站須萬無一失

大陸的空間站由一個核心艙和兩個實驗艙組成，這三個艙段的發射任務都由長五B火箭執行。2021年4月29日，長五B火箭成功發射天和核心艙，打響了空間站建造的開局之戰。一年後，問天實驗艙發射，長五B研製團隊再次出征。

大陸航太科技集團一院長五B火箭副總設計師婁路亮說，此次長五B發射問天艙，是大陸大型「低溫火箭」首次執行交會對接任務，「零窗口」發射對火箭的運載能力、入軌精度和發射可靠性都提出了更高要求。圍繞任務特點，研製團隊用一年時間完成了30多項全箭飛行可靠性提升工作。

婁路亮說，交會對接就好比在太空「穿針引線」，為了更加精準、可靠完成任務，長五B團隊在優化射前流程、拓展發射窗口和提升運載能力上尋求突破。

研製團隊首先將各系統環環相扣的工作流程由「串聯」調整為「並聯」，為火箭點火前預留2分30秒的故障處理時間。然後，在滿足入軌精度的要求下，用「起飛時間修正技術」將發射窗口擴寬至2分30秒，即使火箭沒能完全按照預定窗口發射，也能在這個時間內通過後期的軌道修正精準完成入軌和交會對接。

團隊還將長五B火箭的運載能力提升至不低於23噸。但大推力火箭精準入軌的難度也會變大，這就如同讓一輛正在高速行駛的汽車一腳剎車就停

到指定位置。長五B火箭特有的「大推力直接入軌精度控制技術」和20.5米超大整流罩，讓空間站的艙段可以安全地到達預定軌道。

「就像眼睛不能進沙子，一個小小的多餘物就可能對火箭發射和對接造成災難性的後果。」航太科技集團一院長五B火箭總體副主任設計師劉秉說，為了保證問天艙成功實現交會對接，長五B團隊通過技術溝通、分析論證，嚴控火箭多餘物，盡量減少對艙體對接造成的影響。

此外，這一年，長五B團隊還開展了該型火箭的未來規劃論證工作。團隊對前七次飛行過程數據進行系統梳理，將原來60天的發射準備時間縮短至53天左右，為後續應對高密度發射任務作準備。

見證問天實驗艙發射成功，長五B團隊暫時卸下了重擔。但正如他們所說：「每次發射成功後只能高興兩個小時。」夢天實驗艙發射即將到來，他們再一次打起重任。

從「天問」到「問天」追問不變

2020年7月23日，長征五號遙四火箭托舉「天問一號」火星探測器，邁出了探索浩瀚宇宙的重要一步，開啟了中國人的行星探測時代。

從「天問」到「問天」，兩次發射剛好相差兩年零一天。從探索行星到建設中國人自己的太空

站，兩年間，航太人從未停下前行的腳步，行星探測工程、探月工程、載人航太工程接連圓夢太空，走出一條條「問天」之路。

從「天問」到「問天」，一個「問」字揭示了它們共同的內涵——探索和追問。問天實驗艙既是太空人的太空「新居」，也承載著空間科學研究的重要使命。

作為大陸「國家太空實驗室」的組成部分，問天實驗艙將主要進行生命科學和生物技術研究。目前，問天實驗艙在空間生命科學與生物技術、微重力流體物理、空間材料科學、空間應用新技術試驗等4個領域方向規劃部署了10餘個研究主題，已立項40餘項科學專案。

大陸中科院空間應用中心研究員、集成技術中心副主任張璐介紹，大陸在載人航太「三步

走」的第二步時期，在天宮一號、天宮二號開展了多種類型的科學實驗，是以單一的實驗專案為主，實驗樣品不具備更換能力和需求。如今，進入空間站階段，科研實驗將從單一分散轉為大規模集團式，在太空建造一個真正的科學實驗室。艙內配置的科學實驗櫃就是開展多種科學實驗的通用基礎平臺。

「除個別實驗櫃外，大部分實驗櫃外部介面全部統一，內部載荷介面做成了國家級標準，維修更換非常便捷。同時，實驗櫃也能夠相容國際標準，為後續開展國際合作做好準備。」張璐說。

未來，空間站還將開展空間生命科學與人體研究、微重力物理科學、空間天文與地球科學、空間新技術及應用等4大領域的65個研究計畫，包括近千項研究專案。

空間應用系統副總師、大陸中科院空間應用中心集成技術中心主任王珂說：「建成空間站只是我國空間科學研究的一個開始。後續，全國的高校、科研院所和大中小學生都可以參與到空間站的空間科學實驗中來。我們也歡迎全世界的科研人員共同利用我們的平臺開展科學研究。」

(溫競華、胡喆、宋晨)

實驗艙與核心艙完成對接 太空人進入實驗艙

據中國大陸載人航太工程辦公室消息，問天實驗艙入軌後，順利完成狀態設置，於北京時間7月25日3時13分，成功對接於天和核心艙前向端口，整個交會對接過程歷時約13小時。

這是大陸兩個20噸級航天器首次在軌實現交會對接，也是空間站有太空人在軌駐留期間首次進行空間交會對接。

按任務計畫，神舟十四號太空人乘組於7月25日10時03分成功開啟問天實驗艙艙門，順利進入問天實驗艙，這是中國太空人首次在軌進入科學實驗艙。

後續，將按計畫開展組合體姿態融合控制、小機械臂爬行和大小臂組合測試等在軌工作，並利用問天艙氣閘艙和小機械臂進行太空人出艙活動。(郭明芝、郭中正)

