



●科研人員進行DRO衛星研製工作。 視頻截圖

在距離地球最遠可達200萬千米的地月空間，有一類十分獨特的遠距離逆行軌道（Distant Retrograde Orbit，簡稱DRO），順行繞地、逆行繞月，位於地月空間的勢能高地，是連接地球、月球、深空的「十字路口」，被認為是人類走向深空的「天然良港」。日前，由中國科學院A類戰略性先導專項「地月空間DRO探索研究」部署研製的DRO-A/B兩顆衛星，在抵達並駐留地月空間DRO後，已與先前發射的DRO-L近地軌道衛星建立起星間測量通信鏈路，這標誌着中國已成功構建國際首個基於DRO的地月空間三星座，並取得多項原創性重要成果，為中國開發利用地月空間，引領空間科學前沿探索奠定了堅實的科技基礎。 ●香港文匯報記者 劉凝哲 北京報道

地月空間三星組網示意圖



地月空間DRO：風平浪靜 天然良港

話你知 地月空間是從近地軌道、近月軌道向外拓展的新空域，距離地球最遠可達200萬千米；相對近地軌道空間，其三維空間範圍擴大了上千倍。遠距離逆行軌道（DRO）是地月空間中一類十分獨特的有界周期軌道族，順行繞地、逆行繞月。這條軌道是地月引力的「平衡點」，是風平浪靜的天然良港，航天器消耗非常少的燃料，就可以實現幾十年甚至上百年的穩定運行。這裏也是地月空間的「喜馬拉雅」，是引力勢能的高地，從這裏去月球、去地球、去深空，去任何一個地方都是「俯衝」，風景無限美好。地月空間DRO有望成為空間科學探索的新疆域、部署空間應用基礎設施的新高地、支持載人深空探索的新起點，受到各航天大國的高度關注。

構建國際首個三星星座 中國探秘地月深空良港

開啟遠距離逆行軌道探索 助力開發距地球200萬千米新空域

地月空間是從近地軌道、近月軌道向外拓展的新空域，距離地球最遠可達200萬千米；相對近地軌道空間，其三維空間範圍擴大上千倍。

DRO具穩定停泊等特性

中國科學院空間應用工程與技術中心研究員王文彬介紹說，遠距離逆行軌道（DRO）是地月空間中一類十分獨特的有界周期軌道族，順行繞地、逆行繞月。其中位於相對地月的勢能高地軌道族，是連接地球、月球和深空的交通樞紐，具有低能進入、穩定停泊、低能全域可達等獨特屬性，是地月空間的天然港灣。

「如通過航海發現新大陸、利用空氣動力實現洲際飛行、利用火箭進入太空一樣，地月空間DRO有望成為空間科學探索的新空域、部署空間應用基礎設施的新高地、支持載人深空探索的新起點」，王文彬說，開拓與利用地月空間新疆域，對於支持月球資源開發利用，人類深空駐留和跨行星探測活動，以及對未來可持續發展的太陽系探索都具有非常重要的意義。因此，地月空間探索也受到世界各個航天大國的高度關注。

後續衛星載荷在軌測試

2017年，中國科學院空間應用中心科研團隊通過多年應用基礎理論研究，率先闡明了地月空間DRO的獨特屬性和戰略價值，取得了一系列重要理論突破，刻畫了DRO的動力學相空間結構，定量揭示了其低能入軌特性，並啟動了預先研究和關鍵技術攻關。

2022年2月，中國科學院啟動實施A類戰略性先導專項「地月空間DRO探索研究」，提出自主創新地月空間大尺度三星星座規劃。

2024年2月3日，首顆試驗衛星DRO-L，成功進入太陽同步軌道，並正常開展相關實驗；2024年3月13日，DRO-A/B雙星組合體在西昌衛星發射中



●地月空間DRO探索研究學術研討會15日在北京舉行，專家在會上科普介紹中國成功構建國際首個基於DRO的地月空間三星星座。 中新社

心發射升空。運載火箭一二級飛行正常，但由於上面級飛行異常，衛星未準確進入預定軌道。

在發射出現異常情況下，中國科研團隊成功緊急實施了多次近地點軌道機動補救控制，DRO-A/B雙星組合體在歷經近850萬公里航程後，最終準確進入預定軌道，為後續的衛星載荷在軌測試提供了基本保障和有效支撐。

2024年8月28日，DRO-A/B衛星組合體成功分離。8月30日，DRO-A/B衛星分別與DRO-L衛星成功構建K頻段微波星間測量通信鏈路，驗證了三星互聯互通的組網模式，這標誌着全球首個基於DRO的地月空間三星星座成功實現在軌部署。

中國科學院空間應用工程與技術中心副主任王強表示，「地月空間DRO探索研究」先導專項，在中國科學院科研團隊率先闡明的DRO獨特性質及戰略應用價值的基礎上，提出了自主原則、新穎獨特、簡潔可行的地月空間三星星座總體方案，以最小化的成本、資源和時間投入，最大程度推動地月空間DRO探索取得實質性突破。



●「85後」、「90後」為主體的團隊在埋首苦幹。 視頻截圖

百日太空大救援 青年團隊做主力

「基礎研究要『十年磨一劍』，而我們的科研團隊早在20年前就開始了地月空間航天動力學的應用基礎研究工作」，王強說，這正是中國科學家敢為人先、甘守寂寞、無懼挫折、集智攻關的精神。然而，凝聚着科學家們青春、汗水與心血的DRO-A/B雙星，卻在發射時遭遇失利。面對這一情況，平均年齡不到35歲，以「85後」、「90後」為主體的工程人員團隊上演「太空生死時速」，經過逾百日的極限救援，終於將雙星「搶救」回來，並積累了中國深空小衛星救援的難得寶貴經驗。

衛星未能入軌 處變不驚分析

2024年3月13日，DRO-A/B雙星組合體在西昌衛星發射中心發射升空。運載火箭一二級飛行正常，但由於上面級飛行異常，衛星未能準確進入預定軌道。面對突如其來的變故，中國科學家團隊處變不驚，立即開始了一場驚心動魄的太空「衛星極限生死救援」。

根據地面測站捕獲到時斷時續的衛星遙測數據分析判斷，DRO-A/B衛星組合體正在以200°/S的速度快速翻滾。工程團隊迅速制定應急處置措施：緊急上注姿態控制命令、有效實現速率阻尼、建立太陽翼對日姿態、成功實現星上蓄電池充放電平衡……7個小時後，經衛星遙測數據分析判斷：DRO-A衛星太陽翼可轉動但無法鎖定，DRO-B衛星太陽翼既無法轉動，也無法鎖定；只能通過定期調整衛星組合體姿態，維持衛星能源安全。

果斷做出決策 制定軌道重構

衛星能源安全問題解決後，科研團隊又開始直面衛星入軌高度嚴重不足的難題。經遙測分析，DRO-A/B實際進入的初始軌道遠地點高度僅為13.4萬千米，遠低於預先設計的30萬千米。

3月15日，工程團隊果斷做出決策：雙星不分離，並迅速制定軌道重構策略，通過雙星交替利用燃料抬升軌道高度，全力保障衛星組合體飛抵DRO。3月18日和23日，工程團隊成功實施兩次近地點軌道機動補救控制，DRO-A/B衛星高度被相繼抬高到24萬千米、38萬千米，越過「死亡線」。

4月2日，DRO-A/B衛星成功實施關鍵奔月機動，進入預設低能地月轉移軌道；7月15日，DRO-A/B衛星成功實施DRO入軌機動，準確進入預定任務軌道。在發射出現異常情況下，DRO-A/B衛星歷經123天飛行，航程超過800萬千米，終於進入預定軌道，為後續的衛星載荷在軌測試，提供了基本保障和有效支撐。

2024年8月28日，工程團隊開展了大膽細緻的遠程操控，使DRO-A/B衛星組合體成功分離，且處於同軌編隊伴飛狀態。分離30分鐘內，雙星互相拍照，科研人員對衛星太陽翼受損情況有了清晰了解。更為重要的是，技術指標顯示，分離後，雙星能源平衡，平台及載荷工作正常。測控大廳內頓時響起一片歡呼聲！

最難忘20分鐘 越過「死亡線」

8月30日，工程團隊一鼓作氣，三顆衛星兩兩之間成功構建K頻段微波星間測量通信鏈路，驗證了三星互聯互通的組網模式。至此，全球首個基於DRO的地月空間三星星座成功實現在軌部署，並持續在DRO軌道探索、新質能力、地月尺度星間鏈路及載荷技術等方面，開展在軌演示驗證和預定科學研究。

談及這場太空救援，令中國科學院空間應用工程與技術中心研究員張皓最難忘的，是去年3月18日中午12點54分衛星的軌控推力器開機。「那20分鐘可以說是我人生中最漫長的20分鐘，體會到了『心到了嗓子眼的感覺』」，張皓說，當宣布軌控正常，同事們都禁不住相互擁抱，流下眼淚。這次控制，將DRO雙星從「死亡線」上拉回來，讓年輕的工程師團隊再次燃起希望。

王強表示，在地月空間DRO探索研究專項中，科研團隊在工程強約束和發射異常的情況下，獲得了低能地月軌道設計、軌道重構、衛星能源風險管控等方面的實踐經驗，為我國發射部署更多的地月空間航天器，積累了寶貴的理論方法和工程經驗。

實現多個國際首次 開闢地月空間開發利用新路徑

中國科學院空間應用中心副主任王強研究員介紹，地月空間DRO探索研究先導專項取得了一系列實質性突破，實現多個國際首次。

國際上首次實現航天器DRO低能耗入軌。中國科學院空間應用中心科研團隊在多年地月空間航天動力學與空間探索研究基礎上，創新性提出以飛行時間換取更大載荷重量和應急處置裕度的設計理念，並在該先導專項中得到驗證，最終消耗傳統手段五分之一的極少燃料，即完成了地月轉移及DRO低能耗入軌，這是中國航天器首次實現低能耗地月轉移。這一突破顯著降低了地月空間

進入成本，為大規模地月空間開發利用開闢了新路徑。

國際上首次驗證117萬公里K頻段星間/星地微波測量通信鏈路，突破了地月空間大尺度星座構建核心關鍵技術瓶頸。國際首次驗證地月空間衛星跟蹤衛星定軌導航新質能力。隨着三星互聯組網成功，中國成功驗證了衛星跟蹤衛星的天基測定軌新體制，在軌衛星3小時星間測量數據，即實現了傳統方式2天跟蹤測量數據的定軌精度。這一突破顯著降低了地月空間航天器運行成本，大幅提升了運行效率，為航天器高效運行開闢了新路徑。

開始實施地月巡航機動任務

王強表示，DRO-B衛星已於2025年3月底開始實施地月巡航機動任務，正在向共振軌道可控轉移。未來，科研團隊將秉持和平利用太空的理念，進一步研究地月空間複雜多樣的三體軌道問題，認識和掌握地月空間環境演化規律；利用DRO長期穩定性，部署E-18量級的原子光鐘，支持量子力學、原子物理等領域基本科學問題研究，開展廣義相對論更高精度的驗證等。