●責任編輯：李佩瑾 ●版面設計：鄭世雄 2026年11月23日(星期一) 香港文匯報

現代天問啟示錄

細析火星大氣成分

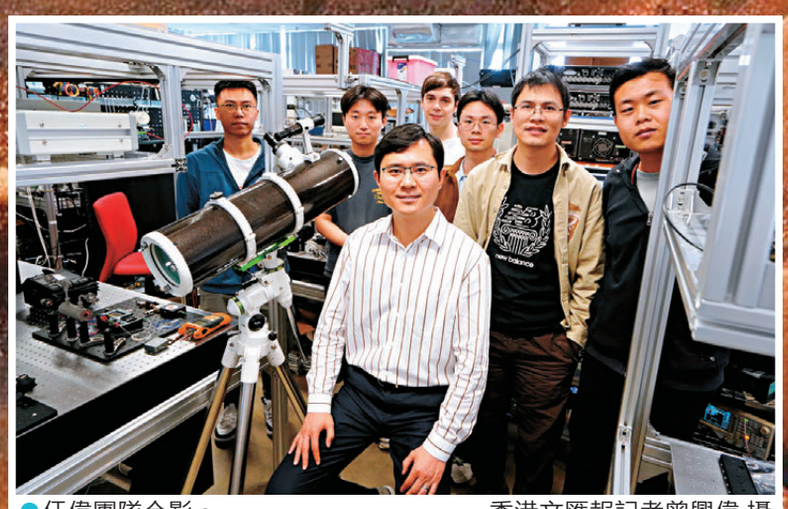
破解水分逃逸之謎

中大團隊全球首創激光外差技術 任偉：為採樣返回任務護航

本報專訪

「天問」一詞，源自戰國時期詩人屈原的長詩《天問》。詩中屈原向蒼天發出170多個問題，從宇宙起源、天體運行，到自然萬物規律，展現了對真理不屈不撓的探索精神；跨越兩千多年後，這份執着正由國家行星探測工程「天問」任務傳承。即將於2028年發射的天問三號，預計2031年前後將火星樣品帶回地球，當中匯聚了全球科研力量，去回答古人當年只能仰望蒼天發問的謎題，而香港中文大學牽頭研製的「激光外差光譜儀」，更是其核心載荷之一。項目牽頭人、中大機械與自動化工程系教授任偉接受香港文匯報專訪，講解這台「火星大氣層的CT掃描儀」，如何將全球首創激光外差技術搬上太空，藉以破解火星水消失的千古謎題，為採樣返回任務護航。這位工程專家亦以光譜儀為視點，向讀者展示香港深入參與國家航天的星辰藍圖。

●香港文匯報記者 劉沐藝、任智鵬



●任偉團隊合影。 香港文匯報記者曾興偉 攝



▲天問三號任務是國家首個火星採樣返回任務，旨在解答「生命是否為地球所獨有」及「生命的生化機制是否具普適性」等重大科學問題。

◀將用於開展火星大氣水同位素廓線分布及火星風場探測。 中大圖片

激光外差光譜儀

「這是首次由香港提出的新技術方案被國家航天局採納，其採用的工作原理，在過去全世界範圍內都未有人（於航天領域）嘗試過。」任偉的話，道出了「激光外差光譜儀」的獨特價值，也承載着香港科研與國家航天同頻共振的初心。它有着兩大核心任務：測量火星大氣中的水汽同位素，解讀火星水逃逸之謎；探測火星風場，為天問三號降落提供輔助支持。

這項技術走向太空，源於團隊的奇思妙想：「大概數年前，學生們做實驗時，想試着用激光分析太陽光，就買了天文望遠鏡收集太陽光，和本地激光形成外差（heterodyne，不同頻率的波混合生成新的頻率信號），發現竟然能成功分析！」任偉回憶，「後來大家更感興趣的是，用這個望遠鏡在晚上看月亮，看得非常清晰。當時我們馬上想是不是可參與嫦娥計劃，這也成為後來申請天問三號項目的契機。」

談及技術原理，任偉用通俗語言拆解了這個「太空神器」的核心邏輯：「測量行星大氣的成分或者風，核心思路基於光譜法——不同的分子，它的光譜是不一樣的，就像太陽光穿過地球大氣後，我們分析光譜會發現紅橙黃綠青藍紫，在特定波長上光會被吸收，通過分析這種吸收帶來的能量變化，就能知道大氣成分。」

完美耦合光束 增強差頻信號

傳統光譜儀方法，技術已相當成熟，任偉指，團隊以激光外差提升行星大氣分析效能的方法，以往仍從未被試過，要達到如同CT（電腦斷層掃描）般為火星大氣做仔細「體檢」的目標，技術背後是枯燥攻關：學生嘗試各種方案，最終把兩束光耦合到光纖裏完美重疊、極大地增強信號，「更多時候，大家在實驗室沒日沒夜地攻克難關。在仰望星空的當下，也要腳踏實地。」

對深空探測來說，超長距離的運送，載荷肯定是做得愈輕愈好。任偉提到，以往用於大氣分析的科學載荷，比如傅立葉轉換光譜儀，涉及複雜的光學器件，重量一般都有30公斤至40公斤，而在天問三號任務中，「激光外差光譜儀」項目的重量指標則是2.5公斤，所以「減重」亦成為研究團隊的關鍵挑戰。

轉為低頻電信號 降低體積功耗

為此，團隊會在光譜儀使用一個本地的半導體激光器，跟指甲差不多大小，功耗非常低，毫瓦量級，用電池就能驅動，「將（火星上接收到的）太陽光和本地激光合束後，打到光電探測器上，分析兩者的差頻信號——太陽光頻率很高，差頻後頻率會變得很小，落到電信號範圍，原本需要分析光信號，現在變成了分析電信號，所用器件簡單又小巧。」任偉指，這種方法不僅極大降低了載荷的體積、重量和功耗，還能保持與傳統高精密光譜儀相當的性能，「光譜解析度依然很高，靈敏度也特別好，因為本地激光可以放大太陽光的弱信號。」

任偉說，如果項目能成功，那將是香港創新技術於國家航天載荷「從0到1」的突破，希望未來能繼續爭取「從1到100」的提升與邁向成熟，相信後續香港科研會於國家航天體系中有更大發揮空間。



●團隊研發的氣體激光遙測儀。 朗思科技圖片

測量氘原子濃度 反推「走水」路徑

話你知

30多億年前，火星曾與地球一樣是布滿水的星球，但後來水就消失了，成為一片沙土之地。任偉說，探究火星水的逃逸機制，是行星科學的重要問題，「這對我們理解地球未來的演化也非常重要」。他解釋，「激光外差光譜儀」的焦點，是測量火星大氣中的水汽分子（H_2O），尤其是水汽中氫的同位素「氘」。相比一般氫原子，氘原子除了質子外還多一個中子，質量大一倍，其逃逸至太空速度遠比氫慢；如果火星大氣中水汽分子氘的濃度比地球為高，則能反向推論火星上的水向太空逃逸的路徑，有助科學家理解其於數十億年間消失之謎。

助天問三號避沙塵暴

與此同時，團隊會幫忙測量火星的風場與沙塵暴。火星滿是沙土，起風後會掀起沙塵暴；而天問三號的核心任務是降落火星採樣並返回，「如果有巨大的沙塵，降落過程非常危險。探測風與沙塵暴，就能很有效地協助天問三號安全、準確地在火星降落」。

支撐這些測量的核心思路基於光譜法，不同分子，光譜各異，特定波長的光會被吸收。透過分析這種吸收所帶來的能量變化，就能掌握大氣中含有什麼成分。然而，相關技術亦有限制，由於激光的調諧範圍非常窄，波長能調節的範圍有限，因此只能測量一種物質，例如只能測量水；反觀傳統傅立葉轉換光譜儀覆蓋波長範圍極寬，可測水、二氧化碳、鉀等多種物質。

不過，對天問三號的科學目標而言，「我們只需要測量水，只關注水，所以這個方法就足夠了。」透過激光掃描，載荷能精準測量水以及水的同位素，完全滿足任務的科學需求，「在各項指標上，都比以往所有技術有了很大提升。」這台「太空神器」，正以最輕巧的身軀，承載最前沿的探索。

拓展應用至地面產品

「國家最看重的，是新技術必須經過驗證。在地球上都無法正常工作，就別指望能在太空中發揮作用。」任偉說。因此，激光外差光譜儀的相關技術早已在地球上找到大量應用場景。團隊將技術孵化為初創公司朗思科技，產品可測量地球大氣中的甲烷，有助探測天然氣管道洩漏，最新成品更輕至80克，可安裝到無人機、機器狗上。

更前瞻的應用，是為機器人視覺「賦能」。任偉說，該技術能讓機器人「看見」空氣中透明的物質——哪裏有洩漏、哪裏有毒氣體，而團隊的激光甚至能照射到3公里外，「相當於給機器人裝上『千里眼』，不僅看得遠，還看得準。」目前團隊正與宇樹等機器人企業洽談合作，讓機器狗進入廠區、礦區、危險地帶，24小時不間斷巡檢。

為機器人裝「千里眼」

從實驗室二三十公斤的樣機，到2.5公斤的航天載荷、80克的地面產品，重量降低九成，產品形態就會出現巨變。任偉指，進行深空探測這類極端環境研究，「跟大家生活沒關係」是誤解——恰恰是在極端環境下研發，技術才更有機會遠超現有水平，再回到地面，便是「降維打擊」。他透露，隨着團隊深度鑽研火星載荷的激光外差光譜儀技術，一旦有所突破，可望促使未來的地面產品飛躍式提效，重量甚至可能大幅減至只有8克。

他強調，在香港做科創成本很高，必須做高附加值、全球獨一無二的產品，才有競爭力；參與國家航天科技項目，正能為科研人員帶來潛在的突破性效果。



●初創公司朗思科技基於宇樹Go2平台打造的「機器狗」，具公里級激光遙測功能、易燃易爆感知功能、火源識別功能等。 朗思科技圖片

上天入地下海 「一束光」織出應用網

任偉團隊研究的激光光譜技術可應用到很多場景，鮮為人知的是，這項技術已能潛入深海。團隊去年入選成為研究資助局項目，與中國科學院深海科學與工程研究所合作，研發裝載於探測潛水器的傳感器，在萬米深海（水壓可達1,000個大氣壓）進行原位分析，測量溶解於海水中的溫室氣體等成分。

深海超過千米照射不到陽光，沒有了光合作用，但仍有豐富生物，牠們靠化能合成生存，微生物以硫化氫、一氧化碳為食，成為其他生物的食物鏈起點，「我們的儀器能到下面直接分析。」任偉笑言，這一路徑「真是上天、入地、下海」。

他亦補充，深海探測使用的激光光譜技術，並不涉及外差技術——深海不存在重量與體積限制，可使用較重設備，因此可採用其他方法實現，「一種方法不能適用於所有場景」，但核心始終如一：用激光，看見原本看不見的物質。

這項開創性技術的誕生，並非一蹴而就，而是團隊十餘年深耕積累的成果。自博士期間開始，任偉就一直在研究激光光譜技術，「當時是用它來研究燃燒，比如分析火焰裏的物質和成分」。來到香港後，團隊在過去長期持續深耕激光光譜測量方法，包括外差技術、光聲技術、光熱技術等，「我們一直在推進產業轉化，面向能源領域、燃燒系統、水科學、深海探測等，不斷改進系統，尋找不同的應用場景。」

從城市管道到火星大氣，從實驗室到萬米海底，這些源自香港、透過國家體系發揚光大的激光光束，正在「極端環境」與「日常場景」之間，織出一張愈來愈密的應用網。