

天眼 獨挑大樑

阿雷西博功成身退，

李菡

專訪FAST首席科學家



文/ 范賢娟

中國大陸貴州的500米口徑球面電波望遠鏡（Five-hundred-meter Aperture Spherical Radio Telescope, FAST），中文簡稱「天眼」，為1994年由南仁東先生提出構想，歷經多年的論證、定址，到2011年才於貴州省黔南布依族苗族自治州平塘縣克度鎮大窩凼的克斯特窪坑正式開工。多年的建設期間，除了一開始投入的人員之外，陸續吸引許多優秀人才積極投入。天眼於2016年9月25日落成啓用，由於其靈敏度高，近年屢在科學上有重大發現。

我們此次介紹的李菡研究員，自2018年起擔任FAST的首席科學家，而更早前在南先生因病無法主持工程時，也是由他以FAST副總工程師的身份代理。今天讓我們一起來聽聽他從科學家的角度，談這些年來在科學上的發現與FAST建設和研究的點滴。

李葯研究員自1995年北京大學技術物理系畢業之後，去美國康乃爾大學天文系攻讀進修，於2002年拿到天文學博士，專長在天體物理與電波天文專業。拿到學位後，李研究員曾經先後在美國的哈佛-史密松天體物理中心（Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics）和國家航空暨太空總署（National Aeronautics and Space Administration, NASA）的噴射推進實驗室（Jet Propulsion Laboratory, JPL）／加州理工學院（Caltech）分別擔任天文學者和研究員。2008年起他開始兼任FAST的項目科學家，2012年回大陸的國家天文臺擔任研究員。

配合設備升級的創新探測方法

在美國研究其間，李研究員把握住阿雷西博電波望遠鏡（Arecibo Radio Telescope Observatory）設備升級的機會，率先利用中性氫的自吸收對冷雲氣開展觀測。「中性氫」的觀測在天體物理中具有重要意義，宇宙中最先為人所注意到和瞭解到的天體是可以為人所看到的目標，例如像太陽這樣會發光的恒星，並且用恒星來研究銀河系、河外星系、宇宙的結構。人類的宇宙觀及很多基礎定律都是由我們所見到、觀測到的物體來決定。問題是這樣真的能掌握到宇宙的全貌嗎？

經過多年的摸索，現在我們瞭解宇宙中絕大多數的普通物質是氣體，雖然很稀薄，但因為分佈的空間廣大，因此其累積總量已達到恒星總量的數十倍，其中絕大部份的物質是氫。這些數量龐大的

自吸收現象

(The Self Absorption Phenomena)

自吸收現象是在高溫物質周遭被溫度較低的相同物質圍繞時，其譜線會因周遭物質的吸收而導致信號在強度上減弱，且因為在觀測者視線方向的運動而會有些許紅移或藍移，偏離原本該有數值的現象。

氫，其中一部分處在低溫的環境中，我們要如何探測到並且加以研究？人類探測星際空間的氫原子最早在1951由學者艾文（Harold Ewen）實現。在銀河中的雲氣，有些溫度高的會自己發光，溫度低的會對背景光源產生吸收。但冷雲氣不光是對較亮的背景會產生吸收，還會對雲氣自身其他部分發出的發射譜線產生「自吸收現象」。

後來天文學家根據更多的觀測，發展出一套銀河系氣體演化和分佈的理論，主要是針對氫原子（HI）在怎樣的環境下會變成氫分子（H₂）。不過，由於中性氫分子的直接測量不易，這方面的瞭解在過去僅止於理論，實際上無法觀測到相關訊息。

2001年在綠堤電波天文臺（Green Bank Telescope）舉辦「紀念中性氫」發現50周年的活

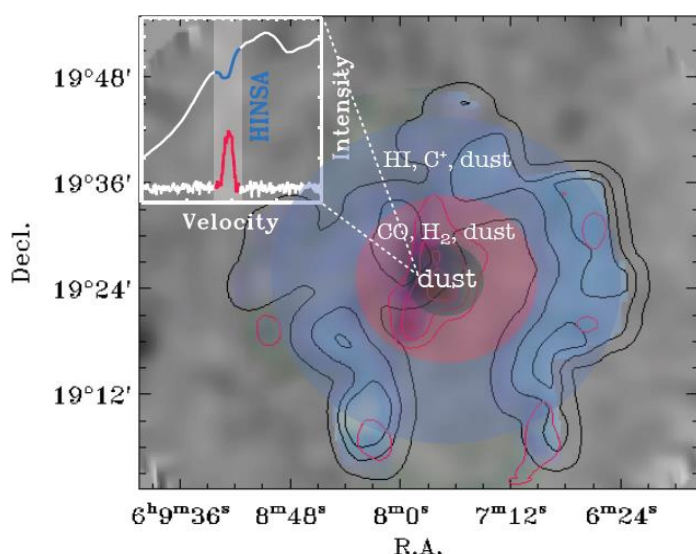


阿雷西博電波望遠鏡
© NAIC

動，當時提出中性氫觀測的創始人艾文也到場。李研究員參加研討會時親聆前輩們的討論深受啓發，回頭看看手中已有阿雷西博電波望遠鏡觀測到的資料，他與博士班導師Paul Goldsmith教授討論，希望就銀河系中大量的彌漫氫分子與恒星誕生的分子雲間的發展關係，補上過去的觀測缺口。這個想法的圖像來自於氫從原子轉變為分子的過程。原子一旦變成分子，分子會更有效率的輻射能量，此時分子雲團會把能量透過光子的形式傳出去，因此溫度降低、壓力變小，而重力則越來越大，加速物質內落，當最後核心的壓力夠大、密度夠高，最終點火開始核能反應變成恒星。這過程現在為大家所公認，而分子會有很有效地冷卻散熱作用也是合理的。但原子變成分子的觀測證據極為缺乏。

李研究員特別強調，當時的前數十年間，相關原子轉換成分子的理論一出來就會偶爾有人嘗試去觀察，但由於儀器靈敏度不夠，無法分辨出太精細的頻率變化，所以沒有太多進展。而他在讀博士班的過程，剛好遇到阿雷西博系統升級，他也參與其中，很快意識到設備升級後應該可以看到這些細微的訊息，因此就將過去眾裡尋他千百度都覓不著的微細資訊給找了出來。

在他的資料中可以看到10K的低溫分子雲，甚至更低到7-8K也可以現蹤。後來還以此法作個小範圍的巡天探測，成果在2003年發表出來，受到學術界的肯定。李研究員把這技術稱為「中性氫的窄線自吸收」（HI Narrow Self-Absorption, HINSA），此



李研究員用HINSA探測到寒冷氫雲中分子與原子的分布情況。

後不僅他，還有許多學者會使用HINSA去研究宇宙中氫原子與分子共存平衡的狀態。

通過這樣的技術還可進一步研究氫從原子向分子轉化的時間尺度與過程，更具體瞭解分子形成速率，有助於架構星系演化與星系結構的模型。這方面的研究李研究員一直持續著，在2018年底在《天體物理》雜誌發表了一篇〈正在形成的暗分子雲的首度發現〉（Catching the Birth of a Dark Molecular Cloud for the First Time）。該文就是觀察中間已經形成分子的分子雲，周圍還有原子，其共存的一個球狀區域可以清楚呈現。該工作被《自然》期刊以研究亮點介紹。

貴州的天眼

李研究員回到大陸使用更加靈敏的FAST來做研究，HINSA巡天自然是要做的研究之一，那還有什麼其他重點呢？讓我們先來對FAST有些基本認識。

FAST與阿雷西博一樣，都是利用天然的凹谷地形來製作電波的球面反射鏡，1963年竣工的阿雷西博原本直徑306公尺，後來擴增到350公尺，很長一段時間都是世界上最大的單孔徑望遠鏡，一直到2016年天眼FAST竣工，它才退到第二大的位置。FAST的直徑為500公尺，這樣大的接收面，可以讓它比阿雷西博更加靈敏。



李研究員與FAST最早的倡議人與規劃者南仁東先生合影。

此外如此龐大的設備很難如小型望遠鏡輕巧的轉向到所欲觀測的天體，它們只能看天頂附近的區域，配合地球自轉，這在天空會掃出一個環狀帶。阿雷西博能夠掃出的環狀帶大約是在天頂20度以內的範圍，因此位於西經66度，北緯18度的阿雷西博，它的觀測範圍就是南緯2度到北緯38度之間。那FAST更加巨大，是否會更加難移動？李研究員表示，為此FAST團隊發展出特殊的技術，讓FAST的主反射鏡面可以化整為零地調整方向，因此能觀察的

範圍增加，可以達到天頂40度左右，而FAST坐落的位置是東經107度，北緯26度，因此它的觀測範圍是南緯14到北緯66度之間，約占整個天空的57%。

在阿雷西博望遠鏡建造時，就有人會針對其底座無法調整的限制，看不到大半的天空質疑其功用與價值。但五、六十年來，阿雷西博望遠鏡在類星體、脈衝星等電波源有很多重要的發現，還在1981年協助金星表面的電波反射地形圖繪



FAST建設期間工程進程，2009年5月25日（左上）、2011年9月6日（右上）、2012年8月5日（左中）、2014年5月2（右中）、2015年1月16日（左下）和2016年7月3日（右下）。圖片©FAST，資料取材自新華社



已經八十高齡的知名電波天文學家Carl Heiles（左二）不畏路途遙遠與基礎建設不足，常常到貴州現場實地探勘FAST的建設情況。



發現脈衝星的Jocelyn Bell Burnell來到李研究員的辦公室，關心FAST的建設進展。

製。而美國學者泰勒（Joseph Hooton Taylor）與赫爾斯（Russell Alan Hulse）在1974年利用阿雷西博望遠鏡發現一個雙中子星系統，以新方式確認引力波存在，讓他們於1993年獲得諾貝爾物理學獎，更是為阿雷西博對天體物理的貢獻上，留下一段佳話。阿雷西博望遠鏡還於1991年首次發現了太陽系外的行星系統，而近來新形成的快速電波暴（FRB）研究領域，阿雷西博望遠鏡也屢屢建功。

李研究員自己過去也經常使用阿雷西博望遠鏡，甚至參與它在1990年代的設備升級工作，發展新方法去探索中性氫的分子雲，因此當他回國聽到科學界有人對FAST這所費不貲的建設之看法，抱持否定與質疑時，他很清楚知道要怎麼與這些雜音共處，更重要的是專注在眼前工作一步步去完成，勇敢地眺望未來。

不過二者還是有差異的，當年在阿雷西博望遠鏡協助升級時，李研究員只是個博士班的研究生，雖然有科學計畫管理的經驗，但畢竟只是負責一個自己熟悉領域的專案；回到大陸，他得擔任整個建設工程的副總工程師，有很多實務上的問題要面對負責。

預算不足是最現實的問題，如何在有限經費下完成建設，發揮預期的效果，這是需要不斷去跟人溝通、協調，還要率領團隊去運用創新想法解決問題。後來竣工後還有許多測試要進行，但此時又有許多人期待它能夠馬上發揮功能，立即有論文發表在頂尖期刊上。對於這些求好心切的聲音，李研究員則知道不能貪快驕等，而是要根據現實的情況，一步一腳印完成各項基礎工作。

即便建設過程辛苦具有挑戰，然而參與FAST的建設還是充滿了許多愉快的事情，畢竟這是世界上最大的單一望遠鏡。許多具有開創性貢獻的電波天文學學者都還在一線工作，彼此熟悉，藉由這全新的望遠鏡的建設，他們會不遠千里而前來望遠鏡臺址現場關心。在那望遠鏡草創階段，基礎設施缺乏的幾年間，這些學者仍然積極的前往建設中的基地，展現出對尖端研究的熱誠與專注，這就是對FAST工程本身最大的祝福與支持。

而FAST本身的優越性能與超高靈敏度，也讓李研究員可以廣邀電波天文學相關領域的優秀青年加入，有了這批年輕的生力軍，很快取得了一些亮點成果。最近就有兩篇關於「快速電波暴」的觀測刊登于《自然》期刊上，並還有關於星際介質中微弱磁場的量測，也已經有很好且明確的成果，準備發表。這些進展都讓李研究員對未來感到樂觀。

李研究員還分享他近年領悟到的事情，我們以往觀察的天文現象都屬於比較靜態。太陽雖然會變，但基本上會維持一定的恒定；火星雖然在天球上行走，但是有其規律；大量的星系，年年歲歲都差不多。我們都以為天體的變化尺度遠遠超過人類的壽命，動輒以百萬年、千萬年計。因此觀測方式會是今年看一下、明年再看一下，而且一看就幾個小時累積下來，這樣看到的過程當然是比較慢的。然而，現今各個波段都可看到越來越精細的時間尺度，尤其電波波段，可以採樣到微秒（ 10^{-6} 秒）甚至到奈秒（ 10^{-9} 秒）尺度，此時我們才慢慢發現原來我們的宇宙是非常豐富多彩，而且劇烈變化的。

世界的天眼

2020年FAST的申請以大陸國內研究單位為主，等到2021年開始，FAST還會對國際開放，李研究員特別表示歡迎大家前來申請使用，評審會由國際上的相關領域專家來參與，具有相當的公正性。

撰稿之時，忽然聽到阿雷西博坍塌了，大概永遠無法修復，只能報廢終止。原本以為未來在東西半球各有一個大型球面電波望遠鏡可以互相唱和，現在只剩下FAST獨挑大樑。雖然還有其他電波陣列望遠鏡可以從事觀察，但還是讓人悵然若失。此時看到FAST適時建設完畢，展開工作，初露頭角，相信許多電波天文學家都會不由得倒抽一口氣，覺得南仁東先生當初很有遠見，而接棒的中生代、年輕人也已陸續就位，正要讓天眼為人類的好奇心、為科學的新疆界，做出獨特的貢獻。

范賢娟：福建寧德師院副教授

YouTube相關影片：



FAST: The World's Largest Telescope | A China Icons Video
<https://www.youtube.com/watch?v=7SRV3mUL00>



China's FAST telescope in numbers
https://www.youtube.com/watch?v=_zLbpuFKDQ

快速電波爆發 (Fast Radio Bursts, FRB) 與FAST的最新成果

這是一種2007年才為人所發現的特殊現象，由天文學家洛裡默 (Duncan Lorimer) 利用資料分析技術檢驗澳大利亞帕克斯電波望遠鏡 (Parkes Radio Telescope) 的歷史觀測資料，從中找到2001年的資料中有一個奇怪的信號，在不到一秒的短暫時間內有非常亮的電波源出現，其明亮程度讓探測器都達飽和，讓人僅能知其能量下限，而無法確認其真正數值。

洛裡默雖然很快就憑著這一發現在《自然》上發表論文，但許多人，包括他身為天文學家的妻子都不相信那屬於天文現象，而會猜測可能是望遠鏡附近有人使用大功率電器造成的。

在此之後，相關觀測搜尋結果歷經數年的沉寂，讓洛裡默自認那是人生中最黑暗的日子，沒想到2013年又有4個快速電波爆發為人所發現。此時天文學家不再會以玩笑意外視之，而是意識到這是一個真實的、不為人所熟悉的天文現象，至此天文學又新產生一個領域。而FAST自然也會對此感到興趣，目前針對幾個已知的爆發源去監測，果然守株待兔找到幾個重複爆，並針對其偏振特性去做觀察探討。一旦捕捉到重複的信號，便能鎖定其所在的星系，可以測量紅移、估計距離，相關資訊的討論會更加具體。

接下來的問題是每個快速電波爆發，都會重複嗎？它們的機制都一樣嗎？

現在觀測到的目標太少，還需要更多的資訊才能回答這些問題。FAST除了守株待兔探測已知的目標之外，希望也能做幾回巡天，看能否有新的發現。就在機遇中、在期盼中，李研究員邀請國際上有興趣的學者一起來了解這斬新未知的領域。