研雙星系統演化 揭「星中有星」成因

科學講堂

一顆恒星被另一顆恒星「吃掉了」，聽起來似乎匪夷所思，但根據恒星演化理論，這種現象的出現其實並不令人意外，只是它極少在我們眼前發生。幸運的是，近日天文學家首次完整追蹤了共有包層階段中伴星螺旋內落的過程，為人類理解恒星內部結構與雙星演化提供了難得的機會。

正常來說，兩顆恒星不應重疊在一起。若兩顆恒星靠得如此之近，它們要麼早已合併，要麼正處於合併的最後階段。當質量較小（少於八倍太陽質量）的恒星耗盡核心的氫燃料後，會進一步點燃氦核聚變，以維持能量輸出。氦燃燒使恒星核心獲得新的能量來源，外層因而顯著膨脹。若這一過程發生在太陽上，太陽的外層很可能越過地球軌道，把地球吞沒。正因如此，一顆恒星被另一顆恒星吞沒的狀況才得以出現。

當一顆恒星被捲入另一顆恒星的包層之後，便不能再像在太空中那樣自由運動；它會因與包層氣體摩擦而不斷損失軌道能量，一邊盤旋，一邊逐漸掉向大質量恒星的核心。這一過程在天文學中稱為共有包層階段（common envelope phase）。

這類系統最終主要有兩種結局：**其一**，較小的恒星被摧毀，併入較大恒星，並改變主星的基本特徵；**其二**，外層包層被完全拋散，留下一個緊密的雙星系統，兩顆恒星以遠短於原先的周期互相繞轉——周期可從以年計縮短至數天甚至數小時。天文學家普遍認為，這正是短周期雙星系統形成的主要機制。

宇宙中存在大量這類系統（黑洞與中子星也會以相似方式互相繞轉，並因而產生重力波），因此深入了解這一過程，對多個天文領域都至關重要。

這種「星中有星」的現象不易觀測，**一來**它並不常見，在如此廣袤的銀河系中，同一時間大約只有幾個此類系統處於這一階段；**二來**共有包層階段的持續時間因系統而異：快速內落可短至數月至數年，慢速螺旋則可能持續數十年甚至更久，對觀測時機有較高要求。

晚期紅巨星吞沒伴星

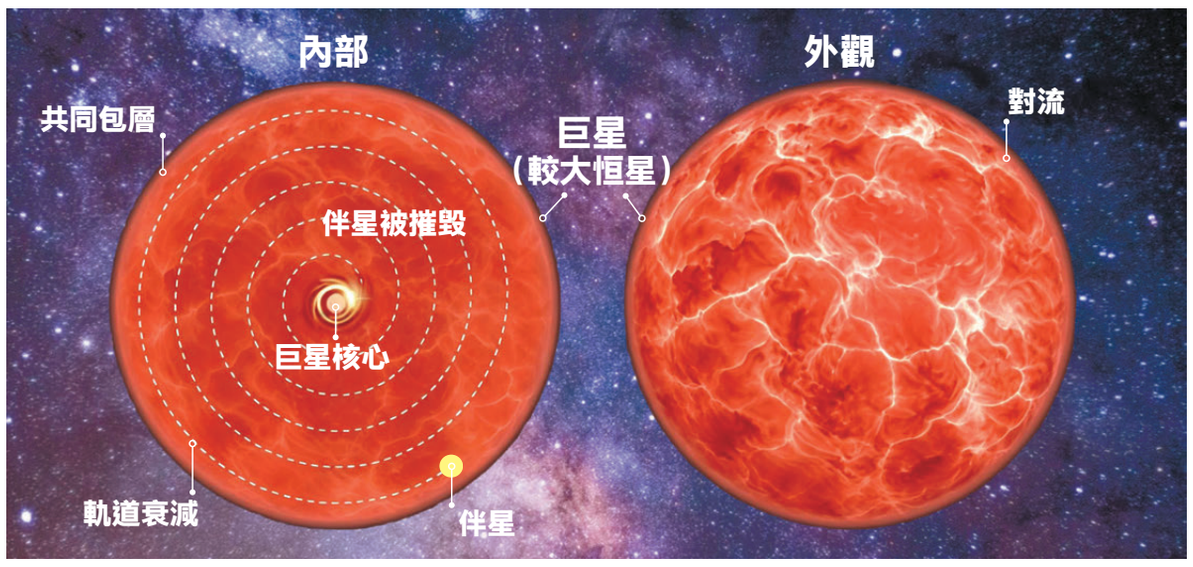
天文學家在編號WTP19aalzlk（亦稱AT 2025abao）的漸近巨星分支星（AGB星，一種晚期紅巨星）上，觀察到了這種「星中有星」的現象。

該AGB星位於仙女座星系，距離地球約250萬光年，質量約為太陽的七倍，半徑已膨脹至太陽半徑的三百多倍。天文學家已對其持續觀測多年：早在2018年，這顆AGB星的亮度便開始穩定上升，顯示較小的伴星已陷入主星的外層大氣。此後約七年間，伴星在氣體阻力作用下不斷損失軌道能量，僅繞行約七圈，便逐漸深入AGB星內部。

及至2025年10月，該系統發生劇烈爆發，不到一個月內亮度提升約百倍，AGB星氣體包層最外部約一成的物質被高速拋射出去。透過對爆發前後光譜的比對，天文學家確認這顆AGB星吞沒了一顆質量約為太陽七成的伴星，使這一系統成為共有包層階段螺旋內落過程首個被完整追蹤的觀測案例。

當一顆較小的星體被吞噬進另一顆星星裏，它們的互動亦提供了珍貴的「缺口」，好讓我們一窺星星的內部。隨着未來更多天文研究更深入地探索星空，我們可期在未來觀察到類似的天文現象。

*中文翻譯僅供參考，深入學習請參見《自然》原文：*Intra-stellar: a star inside a giant star*



香港文匯報製圖（註：根據論文圖像及內容重製）

●杜子航　教育工作者 早年學習理工科目，一直致力推動科學教育與科普工作，近年開始關注電腦發展對社會的影響。

端硯石成分各異 造就獨特墨色

科技暢想

近日，我走進肇慶端州端硯博物館，細細領略這一傳統上被譽為「四大名硯」之首的獨特魅力。館內陳列的古硯、製硯工藝展品與歷史文獻，不僅讓我見證了傳統製硯工藝的精妙絕倫，更讓我深刻體悟到端硯承載的千年華夏文化底蘊。一方小小的端硯，從天然石材到文房瑰寶，歷經地質演變與匠心雕琢，貫穿千年書畫文明史，在我國傳統文化傳承、文人審美塑造與中外文化交流中，皆具有不可替代的深遠意義。

端硯之所以能位列「四大名硯」之首、流傳千年不衰，核心在於其獨特的礦物化學組成，這也是它區別於其他硯台、具備絕佳發墨性能的根本原因。從地質與化學屬性區分，端硯石主要分為紫端、綠端、白端三大類，三類硯石的形成年代、礦物成分與化學成分差異顯著，也造就了各自的質地、色澤與專屬用途。

紫端是端硯中最為經典、存世最多、應用最廣的品類，形成於遠古泥盆紀地層。其岩性為富鋁、鉀、鐵的矽酸鹽類岩石，核心礦物以水白雲母、絹雲母為主，並含少量高嶺石、石英碎屑，同時含有赤鐵礦、磁鐵礦等微量鐵質礦物。

其中，鐵質成分是紫端呈現紫紅、深紫、豬肝紫色澤的關鍵，微量礦物的細密分布，讓紫端石質細膩溫潤、軟硬適中。

獨特的礦物組成讓紫端具備「呵氣生霧、貯水不耗、發墨均勻細膩、不損筆毫」的絕佳特性，研磨出的墨汁細潤濃郁、層次飽滿，極適合書法、國畫創作，是歷代文人最鍾愛的經典硯石。

綠端同樣形成於泥盆紀地層，與紫端同宗異質，岩石類型為富鈣、鎂的碳酸鹽類岩石。其主要礦物成分為白雲石，輔以少量水白雲母、石英與磁鐵礦，因微量礦物配比差異，色澤呈青綠、翠綠或淺綠帶黃，清雅脫俗。綠端石質細潤、質地均勻，硬度適中，發墨順滑不澀，墨色清亮通透，既可用於日常書寫，也適用於山水花鳥畫的淺色暈染，自北宋開採以來，便是文房中的清雅珍品。

白端最為珍稀獨特，形成年代最晚，較紫端、綠端晚約七千萬年，誕生於石炭紀地層。其純度極高，主要由98%的白雲石與少量方解石構成，是純度極高的白雲岩，色澤潔白瑩潤、潔淨無瑕，部分帶有細緻的紅絲、烏絲紋理。特殊的碳酸鹽岩性質讓白端質地堅實細密，但白端不發墨，無法用於日常研墨書寫，古代多用以研磨硃砂、批朱圈點書籍或抄寫經典，專屬性極強，加之存世稀少，收藏價值極高。

產自狹窄石脈 開採艱辛

除了獨特的礦物組成，端硯的珍貴，更在於極其艱難的開採過程。優質紫端、綠端多產於肇慶羚羊峽斧柯山一帶的深谷河床與深山岩洞，尤以老坑（水岩）及大西洞等水坑硯最為頂級；白端則產於七星岩。這類坑口低於河床水平面，常年積水浸漫，僅每年冬季枯水期短暫可開採。坑洞空間極為狹窄，最高不足一米三，最矮僅七十厘米，採石工人需蜷身進入，一邊排水，一邊手工鑿石。且珍貴硯石僅藏於狹窄石脈之中，上下皆為堅硬廢石，千鑿萬掘方能得一塊佳石。同時，白端因產地七星岩被列為保護景區，上世紀六十年代起已禁採；老坑硯石也因資源枯竭，於2000年封坑停採。開採之艱辛與資源之稀缺，讓每一方精品端硯都彌足珍貴。

在中華文房體系中，筆、墨、紙、硯四位一體、相輔相成，缺一不可，構成了中國千年書畫文化的核心載體。紙為書畫之底，承載筆墨意境；筆為書畫之骨，勾勒線條神韻；墨為書畫之魂，賦予畫面層次；而硯，則是筆墨相發的根基。唯有質地適宜的端硯，才能從容發墨，釋放墨質精華，讓墨汁濃淡得宜、着紙不暈、歷久不褪。

●洪文正

香港新興科技教育協會培育科普人才，提高各界對科技創意應用的認識，為香港青年提供更多機會參與國際性及大中華地區的科技創意活動，詳情可瀏覽www.hknetea.org



●端硯博物館陳列的古硯　作者供圖



●長信宮燈使用分鑄拼接技術，部件嚴絲合縫，密閉導煙。　資料圖片

長信宮燈分鑄拼接 可靈活拆卸不漏煙

中國脈搏

中華文明源遠流長，有些文物令人驚嘆古代工匠的智慧，甚至被戲稱為今人「穿越」回古代所製之物。

例如，現藏於浙江杭州博物館的一件戰國水晶杯，1990年出土，外形極似現代玻璃杯，卻來自幾千年前。僅原料與製作，就藏着三個謎團，至今未有解答。

第一，原料從哪裏來？製杯原料是一塊高純度水晶，同等品質十分罕見，其古代產地尚未確定。**第二，杯腔如何掏空？**水晶硬度高，加工不易，杯身又上寬下窄。古人是使用類似玉器加工的管鑽法，還是以金剛砂研磨，抑或其他方法？仍無定論。**第三，內壁如何拋光？**靠近杯底的部分通常難以觸及，工匠用了什麼工具，才能將深處磨得光潔平整？

河北博物院的鎮館之寶，來自兩千年前西漢的「長信宮燈」，可說是一件集環保與智能於一身的「神燈」。長信宮燈由六個部分組成，分別是頭部、身軀、右臂、燈座、燈盤、燈罩，可快速拆裝。燈盤上立有兩片弧形遮光板，形成燈罩，前後滑動即可調節明暗。

此外，這盞燈還自帶抽油煙功能：點燃後產生的煙塵會隨熱氣流順着袖管進入燈體空腔，遇水凝結後沉澱在燈底，全程無煙無味，堪稱世界上最早的環保型燈具之一。

在沒有精密機器的古代，長信宮燈如何做到靈活拆卸而不漏煙？這歸功於漢代成熟的青銅鑄造工藝，尤其是分鑄拼接技術。正是這種技術，讓長信宮燈的部件嚴絲合縫，密閉導煙。

自1968年出土以來，長信宮燈多次肩負外交使命，赴世界各地傳播中華文化。1973年至2000年間，它曾遊歷歐洲多國，三次赴美展出，其中一次更吸引逾百萬觀眾。

青銅卡尺似「穿越產物」

藏於江蘇揚州博物館的東漢青銅卡尺，是另一件神奇文物，它於1992年在揚州出土，來自兩千多年前的東漢，與現代游標卡尺的滑動測量構造相近。最巧妙之處，是它早已懂得「夾住來量」，使用時用手拉開圓環，活動尺便沿導槽滑動，把物件放在卡爪之間，便可量出直徑、厚度或寬度。

而現代游標卡尺所依據的游標尺，一般歸功於法國數學家皮埃爾·維尼爾（Pierre Vernier）於1631年的發明，而揚州這把銅卡尺比其早了約一千五百年，難怪被戲稱為「穿越到古代的產物」。

雖然我們未必知道銅卡尺當年量過什麼，也無法完全復原其讀數精度，但它至少說明：兩千年前的人已不滿足於「差不多」，而想知道「差多少」，這就是精準的開始。

Our China Story 當代中國

●郭立新

當代中國（Our China Story）中英雙語網站，以全新視角介紹今日中國的發展和現況，訪問ourchinastory.com瀏覽更多豐富資訊。



●戰國水晶杯（浙江杭州博物館藏）　資料圖片

AI機械臂「微注射」提升科研效率

創新知

細胞作為維持生命的基本單位，一直是科研領域的核心。無論是進行基因研究、探索疾病療法，以至開發新疫苗，科研人員都經常要將藥物或去氧核糖核酸（DNA）送入細胞內部。然而，細胞直徑只有數十微米，過往科研人員單靠人手在顯微鏡下操控微細玻璃針，逐個細胞手動操作，效率極低；若一次實驗需要注射幾千個細胞，可能要耗時一整天。

針對此痛點，筆者與研究團隊成功研發出「細胞微注射機器人」，透過人工智能（AI）及機器人技術，令整個細胞微注射過程變得又快又準。筆者希望透過分享這項極具前瞻性的創新發明，分析它對未來科學界的深遠影響。

這部「細胞微注射機器人」最大特點是配備了兩隻「手」。傳統系統只有一根注射針，一次只能注射一個細胞。這台機器人裝了兩個微型機械臂，每個機械臂上有一根玻璃微針，兩根針可以輪流工作：一根針注射完一個細胞，另一根針馬上接着注射下一個，節省等候時間。科研人員還用數學方法算出最佳的注射順序，大大提高效率。

此外，機器人巧妙地應用了Mask R-CNN（掩膜區域卷積神經網絡）的深度學習算法，它就像人臉識別一樣，可以在顯微鏡圖像裏自動找出每一個細胞，並且畫出細胞的輪廓。科研人員先用750多張細胞照片訓練AI，讓它學會分辨細胞密集和稀疏的地方；當AI發現細胞擠在一起太密時，系統便選取若干固定位置作為注射點，精準定位注射位置。

一小時可注射約4000次

研究團隊其後以小鼠的成纖維細胞進行實驗，結果有驚人發現：機器人一小時內可以執行大約4,000次注射；注射成功率約60.3%；注射後半小時仍存活的「細胞存活率」高達82%。這意味着一小時內約有2,000個細胞被成功注射並存活，比之前所有同類系統都快。

另外，研究人員還做了一個基因轉染實驗，把帶有綠色熒光蛋白基因的質粒注射進細胞，27小時後細胞果然發出綠光，證明基因已成功導入並表達。從宏觀的科研應用來看，高質量的細胞微注射能幫科研人員一次性獲得成千上萬個被改造的細胞，這對於藥物篩選、基因編輯（例如CRISPR）、癌症研究等領域具有重大意義。以往因注射速度太慢，許多實驗難以完成或效果不佳；現在有了機器人，細胞微注射可以透過自動化，以又快又穩的方式運行。

筆者認為，這套系統的成功率未來還有提升空間，但這項研究告訴我們，AI和機器人技術正在進入生命科學的微觀世界。也許有一天，機器人醫生不僅能給人看病，還能在我們的細胞裏直接「做手術」，修復基因、清除病毒，甚至延緩衰老。

●潘飛　嶺南大學伍絜宜跨學科學院助理教授